



بررسی کارایی جذب کادمیوم توسط کمپلکس گونه‌ای فوزاریوم سولانی جدا شده از خاک زراعی منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه

هیوا عبدی^۱، خسرو چهری^۲، ناصر کریمی^۳

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد میکروبیولوژی گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی.
- ۲- دانشیار گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی.
- ۳- استاد گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	غلظت فلزات سنگین در محیط به دلیل کاربردهای زیادی که دارند به طور مداوم در حال افزایش است. به علت سمیت آن‌ها، باید توسط روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی یا فن‌آوری‌های زیستی پاکسازی شوند. هدف از انجام این مطالعه بررسی کارایی جذب کادمیوم توسط کمپلکس گونه‌ای قارچ فوزاریوم سولانی (<i>Fusarium solani</i>) غیر بیماری‌زا جدا شده از خاک زراعی منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه بود. برای انجام این تحقیق ۱۰ نمونه خاک زراعی از منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه نمونه‌برداری شد. در این تحقیق همه‌ی جدایه‌های قارچی جداسازی، خالص‌سازی و شناسایی شد. به منظور بررسی قابلیت جذب فلز کادمیوم توسط سویه‌های کمپلکس گونه‌ای قارچ فوزاریوم سولانی بدست آمده، همه‌ی سویه‌ها روی محیط کشت PDB کشت داده شدند. محیط‌های کشت PDB به ترتیب با غلظت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر محلول فلز کادمیوم آمیخته شدند. میزان انباشت کادمیوم توسط سویه‌های مورد نظر مورد بررسی قرار گرفتند. در این تحقیق ۱۰ سویه متعلق به کمپلکس گونه‌ای فوزاریوم سولانی از مزارع مختلف منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه جداسازی، خالص‌سازی و شناسایی شد. میزان جذب فلز کادمیوم در غلظت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب ۱/۲۲، ۴/۳۶ و ۶/۶۴ میلی‌گرم بر لیتر را نشان داد. براساس نتایج بدست آمده میزان جذب گونه قارچ فوزاریوم سولانی با افزایش غلظت در مراحل اولیه افزایش پیدا کرده است؛ ولی با افزایش بیش از حد غلظت فلز کادمیوم در غلظت‌های ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ هیچ‌گونه جذبی وجود نداشت.



Evaluation of Cadmium Biosorption by the *Fusarium solani* Species Complex Isolated from Agricultural Soil in the Mahidasht Region of Kermanshah Province

Hiva Abdi¹, Khosrow Chehri^{2✉}, Naser Karimi³

1- MSc student in microbiology, Department of Biology, Faculty of Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran.

2- Associated Professor, Department of Biology, Faculty of Sciences, Razi University, Kermanshah.

3- Professor, Department of Biology, Faculty of Sciences, Razi University, Kermanshah.

Article Info	Abstract
Article type: Research Article	The concentration of heavy metals in the environment is constantly increasing due to their extensive applications. Because of their toxicity, they must be removed using various physical, chemical, or biological technologies. The aim of this study was to evaluate the biosorption efficiency of cadmium by a non-pathogenic <i>Fusarium solani</i> species complex isolated from agricultural soil in the Mahidasht region of Kermanshah Province. For this purpose, 10 agricultural soil samples were collected from different agricultural fields in the Mahidasht region of Kermanshah Province. All fungal isolates were isolated, purified, and identified. To assess the cadmium biosorption capability of the obtained strains belonging to the <i>Fusarium solani</i> species complex, all strains were cultured in potato dextrose broth (PDB) medium. The culture media were then spiked with cadmium solutions at concentrations of 25, 50, 100, 150, 200, and 300 mg/L. Subsequently, the amount of cadmium accumulated by the strains was investigated. In this study, 10 isolates belonging to the <i>Fusarium solani</i> species complex were isolated, purified, and identified from different agricultural fields in the Mahidasht region of Kermanshah Province. The amounts of cadmium biosorbed at concentrations of 25, 50, and 100 mg/L were 1.22, 4.36, and 6.64 mg/L, respectively. Based on the results, cadmium biosorption by the <i>Fusarium solani</i> species complex increased with increasing metal concentration during the initial stages. However, at higher cadmium concentrations of 150, 200, and 300 mg/L, no biosorption was observed.
Article history:	
Received: 2025/07/18	
Accepted: 2026/08/10	
Available online: 2026/08/19	
Keywords: Biosorption, Agricultural Soil, Cadmium, <i>Fusarium solani</i>	

✉ Corresponding author E-mail address: khchehri@gmail.com

مقدمه

فلزات سنگین عناصری هستند که به‌طور طبیعی (در اثر فعالیت‌های زمین‌شناسی) و یا در نتیجه فعالیت‌های بشر وارد محیط زیست موجودات زنده می‌شوند. گداختن فلزات، فعالیت‌های معدن کاوی، استفاده از سوخت‌های فسیلی، به‌کار بردن کودها و حشره‌کش‌ها و تولید فاضلاب‌های شهری از مهم‌ترین فعالیت‌های انسانی است که محیط زیست را به مقدار زیادی به فلزات سنگین آلوده می‌کنند (وکسما^۱ و همکاران، ۲۰۲۳؛ مهارگ^۲، ۲۰۰۵). در میان آلاینده‌های معدنی، ترکیبات دارای فلزات سنگین به دلیل ماهیت سمی خود بسیار مورد توجه متخصصان محیط زیستی قرار گرفته‌اند (عبدل آتی^۳ و همکاران، ۲۰۱۳). حضور فلزات سنگین در آب، هوا، خاک و موجودات زنده به دلیل اثرات مضر آن‌ها روی انسان و محیط زیست، یک نگرانی فزاینده محسوب می‌شود، لذا پاکسازی این فلزات برای حفظ محیط زیست اهمیت دارد (دوسنچمانگو و ماری^۴، ۲۰۲۰). کادمیوم یک عنصر شیمیایی است که در جدول تناوبی عناصر با نشان Cd و با عدد اتمی ۴۸ و عدد جرمی ۱۲/۴ است. این عنصر غیرقابل تجزیه است و تمایل به تجمع در ارگانسیم‌های زنده دارد (چن^۵ و همکاران، ۲۰۰۷). با توجه به اینکه غلظت فلزات سنگین در محیط به‌طور مداوم در حال افزایش است، به‌دلیل سمی بودن آن‌ها باید توسط روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی یا فن‌آوری‌های زیستی حذف شوند (آن^۶ و همکاران، ۲۰۱۵). تکنیک‌های فیزیکوشیمیایی برای اجرای مقیاس بزرگ بسیار گران هستند و ممکن است به‌دلیل اتصال غیراختصاصی فلزات همیشه امکان‌پذیر نباشند (یانگ^۷ و همکاران، ۲۰۲۰). به‌دلیل معایب روش‌های معمول امکان استفاده از فناوری با استفاده از روش‌های زیستی به عنوان روش‌های جایگزین برای حذف یون‌های فلزات سنگین از خاک و آب آلوده وجود دارد (وولسکی و هولان^۸، ۱۹۹۵). زیست‌پالایی یکی از حوزه‌های مهم و جدید در فناوری زیست سالم‌سازی به‌شمار می‌رود. زیست‌پالایی به‌عنوان استفاده از میکروارگانیسم‌ها برای کاهش یا حذف خطرات محیط زیست با استفاده از واکنش‌های شیمیایی واجد شرایط یا فرایندهای فیزیکی تعریف می‌شود (کاپاهی و ساچدوا^۹، ۲۰۱۷). جذب زیستی یک اصطلاح است که حذف فلزات سنگین را با اتصال غیرفعال به زیست‌توده غیرزنده از یک محلول آبی توصیف می‌کند. این بدان معنی است که مکانیسم حذف به‌طور متناوب کنترل نشده است. در مقابل، اصطلاح تجمع زیستی یک فرایند فعال را توصیف می‌کند که در نتیجه حذف فلزات نیاز به فعالیت متابولیکی موجودات زنده دارد. در تجمع زیستی، سموم به سلول منتقل می‌شود، یعنی از غشاء سلول عبور می‌کنند و در داخل سلول تجمع می‌یابند (سینگ^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۵). انتقال فلز در سراسر غشاء سلولی باعث انباشت داخل سلولی می‌شود که وابسته به متابولیسم سلول است. این بدان معنی است که این نوع جذب ممکن است فقط با سلول‌های زنده قابل انجام باشد. در طول جذب غیروابسته به متابولیسم، جذب فلز توسط تعامل فیزیکوشیمیایی بین فلز و گروه‌های عملکردی موجود در سطح سلولی است که در آن فلزات به دیواره سلولی متصل می‌شوند (کوتنالا^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۵). در چند سال اخیر مطالعات فراوانی در مورد جذب زیستی فلزات سنگین توسط جاذب‌های زیستی هم‌چون انواع جنس و گونه‌های قارچ، جلبک، باکتری و مخمر انجام شده است که در آن میان سهم بیشترین مطالعات مربوط به قارچ‌ها و جلبک‌ها است (ایسیداک^{۱۲}، ۲۰۰۷).

1- Vaksmaa

2- Meharg

3- Abdel-Aty

4- Dusengemungu & Mary

5- Chen

6- An

7- Yang

8- Volesky & Holan

9- Kapahi & Sachdeva

10- Singh

11- Kotnala

12- Isildak

قارچ‌ها به‌عنوان موجودات زنده یوکاریوتی^۱، هتروتروف^۲ و جذب کننده تعریف شده‌اند که معمولاً یک پیکره منشعب و رشته‌ای به‌نام هیف^۳ ایجاد می‌کنند و از طریق اسپورزایی^۴ تولید می‌شوند. قارچ‌ها بیشتر از باکتری‌ها برای زیست پالایی خاک‌های آلوده با توجه به زیست توده، شبکه هیف و چرخه زندگی طولانی استفاده می‌شوند (سوهادلک^۵ و همکاران، ۲۰۰۴). قارچ‌ها به‌دلیل توانایی آن‌ها در حذف یون‌های فلزات سنگین از محیط‌های مایع، نسبت به سایر ارگانیسم‌ها برای زیست‌پالایی ترجیح داده می‌شوند و نیز می‌توانند شرایط محیطی و سمی مانند غلظت بالاتر فلزات و شرایط اسیدیته پایین را نیز تحمل کنند (هارمس^۶ و همکاران، ۲۰۱۱). قارچ‌پالایی یکی از انواع مختلف زیست‌پالایی است که از گونه‌های مختلف قارچ برای پاک‌سازی محیط آلوده استفاده می‌شود. قارچ‌پالایی با استفاده از گونه‌های قارچی فوزاریوم با توجه به این‌که دارای پراکنش جهانی هستند و قابلیت رشد در بسیاری از محیط‌های آبی و خاکی را دارند و نیز دارای قابلیت ساپروفیت^۷ بالایی هستند، می‌توانند نقش مهمی در حذف فلزات سنگین داشته باشند (اراسکوین و وزکواز^۸، ۲۰۰۳). تاکنون ۵۰ نسل از کمپلکس گونه‌ای فوزاریوم سولانی مشخص شده است که بیشتر آن‌ها به‌طور رسمی توصیف نشده‌اند. جذب زیستی توسط قارچ‌ها به‌طور عمده به پارامترهای pH، یون فلزات و غلظت زیست توده، حضور لیگاندهای مختلف در محلول و به میزان محدودی دما بستگی دارد (مسکویتا و همکاران^۹، ۲۰۱۶). ازجمله مزایای مهم قارچ‌ها، قدرت جذب بالای فلزات سنگین و هزینه پایین تهیه آن‌ها است. علاوه بر این، جاذب‌های قارچی را می‌توان برای چندین بار استفاده کرد (لمرود و رلیگانکار^{۱۰}، ۲۰۱۳؛ ایزوهری^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۹). هدف از انجام مطالعه حاضر بررسی کارایی جذب کادمیوم توسط جدایه‌های کمپلکس گونه‌ای فوزاریوم سولانی غیر بیماری‌زا جدا شده از خاک زراعی منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه است. با توجه به گسترش جهانی و توانایی رشد در بسیاری از محیط‌های آبی و خاکی و همچنین توانایی ساپروفی بالا، در این پژوهش از جدایه‌های دارای کمپلکس گونه‌ای فوزاریوم سولانی استفاده شد تا با انجام این مطالعه، به زیست پالایی فلز سمی کادمیوم کمک مؤثری کند.

مواد و روش‌ها

• نمونه‌برداری از خاک و شناسایی قارچ

برای انجام این تحقیق ۱۰ نمونه خاک زراعی از منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه نمونه برداری شد. نمونه‌ها در پاکت‌های کاغذی قرار داده شد و سریع به آزمایشگاه منتقل شد و در آن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. گونه‌ها به‌روش تهیه سوسپانسیون خاک جداسازی شدند بدین صورت که یک گرم از خاک با ۱۰۰ سی‌سی آب حل شد و یک سی‌سی از آن بر روی محیط کشت انتخابی پنتا کلرو نیترو بنزن- آگار (PCNB-Agar)^{۱۲} کشت شد. همه تشتک‌های پتری برای ۴۸ ساعت در شرایط استاندارد قرار داده شد. پرگنه‌های^{۱۳} رشد کرده تک اسپور شده و برای نگهداری کوتاه مدت و مشاهده مشخصات پرگنه نظیر میزان رشد و رنگ، به محیط کشت معمولی سیب زمینی-

1- Eukaryota

2- Heterotroph

3- Hypha

4- Sporogenesis

5- Suhadolc

6- Harms

7- Saprophytes

8- Errasquin & Vazquez

9- Mesquita

10- Lamrood & Ralegankar

11- Ezzouhri

12- Pentachloronitrobenzene (PCNB)

13- Colony

دکستروز-آگار (PDA)^۱ انتقال داده شدند. به منظور تحریک جدایه‌ها به تولید ماکروکنیدیوم^۲ از محیط‌های کشت برگ میخک-آگار (CLA)^۳ دو در صد و اس.ان.ا. (SNA)^۴ استفاده شد. برای مشاهده جدایه‌هایی که به سختی کلامیدوسپور از محیط کشت خاک-آگار (SA)^۵ دو و نیم درصد استفاده شد. گونه‌ها به کمک کلیدهای تشخیص موجود در آخرین مقالات علمی مرتبط شناسایی شدند (شورت^۶ و همکاران، ۲۰۱۳).

• ارزیابی بیماری‌زایی روی گیاهان زراعی در گلخانه

آزمون بیماری‌زایی همه جدایه‌های قارچی بدست آمده روی گیاهان زراعی مختلف از جمله گندم، جو، ذرت، چغندرقد، سیب زمینی و نخود مورد ارزیابی قرار گرفت، بدین صورت که ریشه و غده همه گیاهان ذکر شده با سوسپانسیون حاوی ۱۰۶ اسپور قارچ آغشته شد که در صورت بیمار شدن گیاه بیماری‌زا بودن جدایه‌ها مشخص شود.

• تهیه محلول‌های فلزی

محلول استوک (۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) کادمیوم با استفاده از نمک کلرید کادمیوم (CdCl₂)^۷ تهیه شد. برای این منظور مقدار مشخصی از نمک یاد شده در آب مقطر دیونیزه حل شد. سپس حجم‌های مساوی از محلول فلز کادمیوم با غلظت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تهیه شدند و برای تعیین غلظت دقیق محلول نمکی از دستگاه جذب اتمی^۸ استفاده شد (خامسی^۹ و همکاران، ۲۰۱۶؛ لیانگ^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۶؛ کومار و دوایدودی^{۱۱}، ۲۰۲۱).

• تهیه زیتوده

در این پژوهش به منظور بررسی قابلیت جذب فلز کادمیوم توسط سویه‌های بدست آمده از محیط کشت PDB^{۱۲} استفاده شد. ۱۵۰ میلی‌لیتر از محیط کشت PDB به ترتیب با غلظت‌های مختلف محلول فلز کادمیوم آمیخته و سپس همه فلاسک‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در یک شیکر-انکوباتور به مدت ۵ روز نگهداری شد (مسکویتا و همکاران، ۲۰۱۶). توده سلولی قارچ از طریق فیلتر کردن محیط کشت با استفاده از کاغذ صافی واتمن وزن شده تعیین شد، میسلیم به طور کامل با مقادیر زیادی آب مقطر شسته و در نتیجه زیست توده بدست آمد. به ازای هر گرم قارچ، ۲۵ سی‌سی سود ۰/۵ نرمال در داخل یک بشر ریخته و بر روی هیتر قرار داده شد. پس از به جوش آمدن سود، زیست توده در داخل آن ریخته شد و ۱۵ دقیقه باقی ماند. سپس مخلوط حاصل در لوله‌های آزمایش کوچک توزیع شد و به مدت ۱۰ دقیقه توسط دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۳۵۰۰ RPM سانتریفیوژ شد. پس از دور ریختن محلول سود موجود در بالای لوله، زیست توده سه بار توسط آب دیونیزه مورد سانتریفیوژ و شستشو قرار گرفت، سپس زیست‌توده موجود روی فویل، به آون منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. زیست‌توده پس از خشک شدن، آسیاب شده و از الک با مش ۱۰۰ عبور داده شد و پودر کاملاً همگنی تهیه شد که آماده استفاده برای جذب فلزات سنگین شد. سود استفاده شده، با حذف لیپیدها و پروتئین‌ها یا به صورت کلی ناخالصی‌هایی که مکان اتصال را پوشانده‌اند، سبب افزایش میل ترکیبی یون‌های فلزی با دیواره سلولی می‌شود، بنابراین آماده‌سازی سبب

1- Potato dextrose agar

2- Macroconidia

3- Carnation Leaf Agar

4- Synthetic Nutrient Deficient Agar

5- Soil Agar

6- Short

7- Cadmium dichloride

8- Atomic Absorption Spectroscopy

9- Khamesy

10- Liang

11- Kumar & Dwivedi

12- Potato dextrose Broth

افزایش بازده جذب زیستی می‌شود که این امر در مطالعات مختلف نیز ثابت شده است (محمدزاده^۱ و همکاران، ۲۰۱۴).

• ارزیابی جذب زیستی

برای اندازه‌گیری غلظت کادمیوم از روش هضم اسیدی استفاده شد. ابتدا ۰/۱ گرم از نمونه خشک شده را وزن کرده و در داخل لوله آزمایش تمیز ریخته شد، سپس ۱ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ را به آن اضافه و ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شد. مخلوط حاصل به مدت ۱ ساعت در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌منظور هضم شدن کامل نمونه‌ها قرار گرفت و در مرحله بعد نمونه‌ها با کاغذ صافی صاف شد و به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس با استفاده از دستگاه جذب اتمی، غلظت کادمیوم اندازه‌گیری شد. این آزمایش با سه بار تکرار انجام شد (فولادی‌فرد و عظیمی، ۲۰۱۴؛ خامسی و همکاران، ۲۰۱۶).

• آنالیز آماری

برای بررسی جذب زیستی و تاثیر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر جذب زیستی از نرم‌افزار SPSS^۲ استفاده شد. همچنین، با استفاده از روش مقایسه میانگین‌ها (آزمون دانکن)^۳، اختلاف آماری بین سویه‌ها از نظر کارایی انباشت کادمیوم بررسی شد (دوایدودی^۴ و همکاران، ۲۰۱۲).

یافته‌های پژوهش

در این تحقیق ۱۰ سویه متعلق به کمپلکس گونه‌ای فوزاریوم سولانی از مزارع مختلف منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه جداسازی، خالص سازی و شناسایی شدند. سویه‌های فوزاریوم سولانی دارای پرگنه قهوه‌ای بودند. بر روی پرگنه کنیدیوفورهای^۵ بلند تشکیل دادند که در انتهای کنیدیوم‌ها^۶ به‌صورت سر دروغین مشاهده شدند. ماکروکنیدی‌ها^۷ ۳ تا ۵ دیواره داشتند و میکروکنیدیوم‌ها^۸ تک حجره‌ای و یا حداکثر دارای یک دیواره بودند. همچنین کلامیدوسپورهای^۹ زیادی به‌صورت زنجیره‌ای و خوشه‌ای تولید کردند (شکل ۱).

در این مطالعه کارایی زیتوده قارچی به‌منظور جذب کادمیوم و حذف آن از محیط بررسی شد. بیشترین میزان حذف کادمیوم در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر انجام گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده با استفاده از دستگاه جذب اتمی مقدار جذب فلز کادمیوم توسط قارچ فوزاریوم سولانی در جدول (۱) نشان داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده کمترین و بیشترین مقدار جذب توسط جدایه‌های فوزاریوم سولانی به‌ترتیب در سطوح آلودگی ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد (شکل ۲). با افزایش غلظت فلز سنگین میزان جذب فلز نیز افزایش یافت. در این آزمایش تیمارهای بیشتر از ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کشنده بودند. آزمون بیماری‌زایی همه جدایه‌های قارچی بدست آمده روی گیاهان زراعی مختلف از جمله گندم، جو، ذرت، چغندر قند، سیب زمینی و نخود مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج بدست آمده نشان داد که هیچ‌کدام از جدایه‌ها بیماری‌زا نبودند.

1- Mohammadzadeh

2- Statistical Package for the Social Sciences

3- Duncan's multiple range test

4- Dwivedi

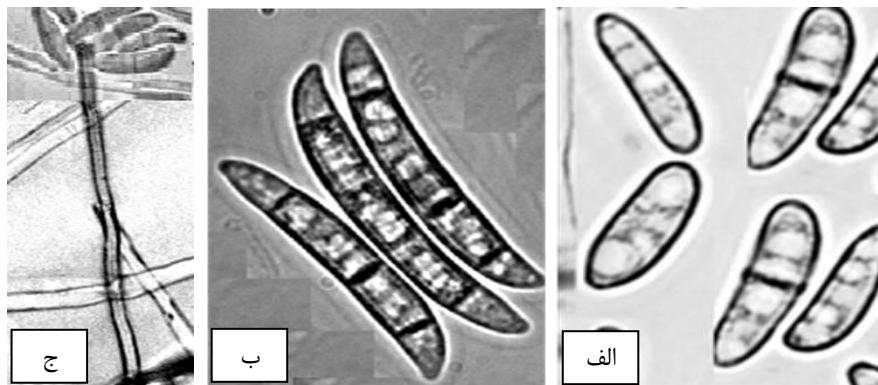
5- Conidiophores

6- Conidia

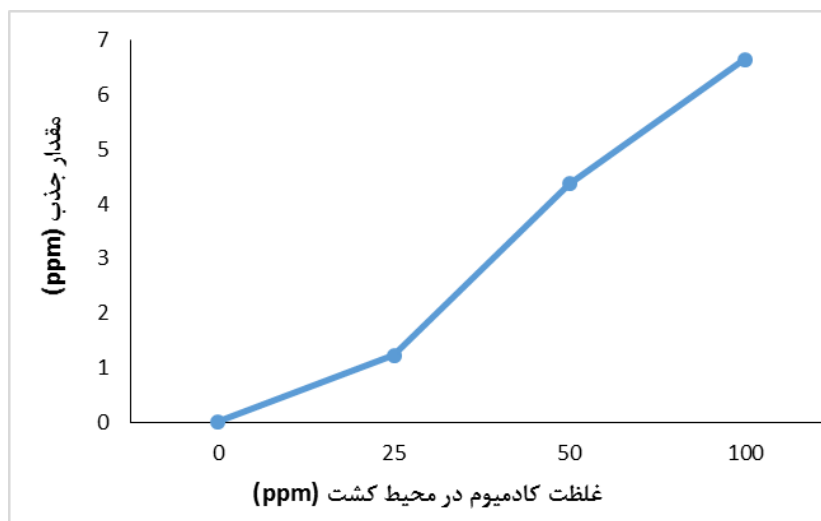
7- Macroconidia

8- Microconidia

9- Chlamidospora



شکل (۱) تصویر قارچ فوزاریوم سولانی: الف) میکروکنیدیوم‌ها، ب) ماکروکنیدیوم‌ها، ج) کنیدیوفور



شکل (۲) مقدار جذب فلز کادمیوم در غلظت‌های مختلف

جدول (۱) مقدار جذب فلز کادمیوم توسط جدایه‌های فوزاریوم سولانی سویه ۱

شماره لوله آزمایش	مقدار غلظت فلز کادمیوم بر حسب ppm	مقدار جذب فلز کادمیوم توسط قارچ فوزاریوم سولانی	شماره جدایه‌ها
۱	۲۵	۱/۲۲c	۱
۲	۵۰	۴/۳۶b	۲
۳	۱۰۰	۶/۶۴a	۳
۴	۱۵۰	.	۴
۱	۲۵	۱/۲۶c	۲
۲	۵۰	۴/۵۶b	۳
۳	۱۰۰	۶/۷۴a	۴
۴	۱۵۰	.	
۱	۲۵	۱/۵۸c	۳

شماره لوله آزمایش	مقدار غلظت فلز کادمیوم بر حسب ppm	مقدار جذب فلز کادمیوم توسط قارچ فوزاریوم سولانی	شماره جدایه‌ها
۲	۵۰	۴/۸۰b	۴
۳	۱۰۰	۶/۸۶a	
۴	۱۵۰	.	
۱	۲۵	۱/۶۴c	
۲	۵۰	۴/۴۲b	۵
۳	۱۰۰	۶/۴۳a	
۴	۱۵۰	.	
۱	۲۵	۱/۱۲c	
۲	۵۰	۳/۹۵b	۶
۳	۱۰۰	۶/۱۶a	
۴	۱۵۰	.	
۱	۲۵	۱/۱۰c	
۲	۵۰	۴/۱۲b	۷
۳	۱۰۰	۵/۸۶a	
۴	۱۵۰	.	
۱	۲۵	۱/۲۴c	
۲	۵۰	۴/۶۴b	۸
۳	۱۰۰	۶/۶۴a	
۴	۱۵۰	.	
۱	۲۵	۱/۶۸c	
۲	۵۰	۴/۵۶b	۹
۳	۱۰۰	۶/۸۶a	
۴	۱۵۰	.	
۱	۲۵	۱/۵۸ c	
۲	۵۰	۴/۸۰b	۱۰
۳	۱۰۰	۶/۸۶a	
۴	۱۵۰	.	
۱	۲۵	۱/۵۸ c	

حروف مشابه در هرستون نشانه عدم معنی داری اختلاف میانگین ها بر اساس آزمون مقایسه میانگین ها (دانکن) است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات فراوان در مورد حذف فلزات سنگین از محیط زیست و آلودگی روز افزون آن‌ها، با انجام این مطالعه می‌توان به زیست‌پالایی فلز سمی کادمیوم کمک ویژه‌ای کرد. بدین منظور، برای انجام این تحقیق از خاک‌های منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه نمونه‌برداری صورت گرفت و پس از رشد و جداسازی قارچ فوزاریوم سولانی در محیط کشت سیب زمینی دکستروز براث گونه قارچی خالص‌سازی شد. در گلخانه آزمون بیماری‌زایی همه جدایه‌های قارچی بدست آمده روی گیاهان زراعی مختلف از جمله گندم، جو، ذرت، چغندر قند، سیب زمینی و نخود مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل نشان داد هیچ کدام از جدایه‌ها روی گیاهان کشت شده بیماری‌زا نبود. سپس در غلظت‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از فلز کادمیوم، میزان جذب آن توسط گونه قارچی بررسی شد. براساس نتایج بدست آمده میزان جذب گونه قارچ فوزاریوم سولانی با افزایش غلظت در مراحل اولیه افزایش پیدا کرده است، ولی با افزایش بیش از حد غلظت فلز کادمیوم در غلظت‌های ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ هیچ‌گونه جذبی وجود نداشت. غلظت بیش از اندازه فلز کادمیوم اثر سمی روی گونه قارچی داشته و باعث مرگ آن شده است. معمولاً میزان جذب فلز به ازای واحد جرم توده زنده در میکروارگانیسم‌ها وابسته به غلظت اولیه یون‌های فلزی در محلول است؛ تا زمانی که همه جایگاه‌های فعال ناقل‌های غشایی به یون متصل شود که در این صورت حداکثر جذب یون‌های فلزی توسط توده زنده انجام می‌شود. افزایش غلظت فلزات سنگین موجب کاهش جمعیت میکروارگانیسم تغییرات مورفولوژیکی و مانع از فرآیندهای بیوشیمیایی میکروارگانیسم‌ها می‌شود (دوایدودی و همکاران، ۲۰۱۲؛ خامسی و همکاران، ۲۰۱۶).

مطالعات فراوانی در مورد جذب زیستی فلزات سنگین توسط جاذب‌های زیستی همچون باکتری‌ها، گیاهان، قارچ‌ها، جلبک‌ها و مخمر صورت گرفته است. با توجه به مطالعات انجام شده در این زمینه جذب فلزات نیکل و کادمیوم با استفاده از توده زیستی حاصل از لجن توسط فولادی‌فرد و عظیمی (۱۳۹۳) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اولیه فلزات (صرف نظر از افزایش مقدار خالص جذب)، میزان درصد جذب (نسبت به محتوای اولیه فلز) کاهش می‌یابد. یعنی، در غلظت ۲۵ میلی‌مولار حداکثر جذب ۱/۸۲ میلی‌گرم بر لیتر از کل میزان کادمیوم موجود در سیستم است و در غلظت ۷۵ میلی‌مولار ۸/۴۴ میلی‌گرم بر لیتر است. نتایج مطالعه فولادی‌فرد و عظیمی (۱۳۹۳) مشابه این مطالعه است و با افزایش بیشتر غلظت کادمیوم میزان حذف آن کاهش می‌یابد. قارچ اسپرژیلوس نیجر^۱ به‌عنوان یک منبع بالقوه در فرایند جذب برای حذف فلزات سنگین است (اکوستا رودریگز^۲ و همکاران، ۲۰۱۸). مسکویتا و همکاران (۲۰۱۶)، جذب فلزات سنگین مثل سرب و نیکل را با استفاده از تیمار زیست توده گونه‌های قارچی مورد بررسی قرار داد. یون‌های فلزی با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب اتمی با استفاده از لامپ‌های خاص در طول موج مشخصی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. حداکثر حذف سرب در حدود ۷۵-۸۰ درصد در pH=۶-۷ با حداکثر دوز جذب ۰/۲ مشاهده شد. در مورد نیکل، بیشینه جذب زیستی حدود ۵۰-۶۰ درصد در اسیدیته ۵ تا ۶ گزارش شده است. نتایج نشان داد که جذب زیستی قارچی پتانسیل بسیار خوبی در حذف یون‌های فلزی دارد (مسکویتا، ۲۰۱۶). دوایدودی و همکاران، حذف فلزات سنگین در محیط‌های مایع را از طریق قارچ‌های جدا شده از فاضلاب مورد بررسی قرار دادند. اکثر ایزوله‌های قارچ قادر به تحمل فلزات سنگین تا ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بودند. جذب یون‌های فلزات به تدریج افزایش می‌یابد تا آن‌ها به غلظت مطلوب برسند و بعداً کاهش می‌یابد (دوایدودی و همکاران، ۲۰۱۲؛ شارما^۳ و همکاران، ۲۰۲۳). در مطالعه دیگری، کیو^۴ و همکاران (۲۰۲۱) اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم بر میزان حذف توسط توده زیستی زنده و غیرزنده مخمر و کپک را بررسی کردند. با افزایش غلظت کادمیوم میزان حذف آن کاهش یافت که

1- Aspegillus niger

2- Acosta-Rodríguez

3- Sharma

4- Qiu

می‌تواند به دلیل اشباع شدن ساختارهای سطحی مخمر و کپک باشد. در مطالعات اخیر با استفاده از لجن فعال خشک شده به عنوان جاذب کادمیوم گزارشاتی انجام شده است. مطالعات دیگری در زمینه جذب فلزات سنگین در سایر کشورها انجام شده است (سی و بلفورد^۱؛ لیاکوت^۲ و همکاران، ۲۰۲۰؛ ناز^۳ و همکاران، ۲۰۲۳)، اما متأسفانه تاکنون در مورد حذف فلز کادمیوم از خاک‌های زراعی منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه مطالعه‌ای انجام نشده است، لذا بررسی این موضوع دارای اهمیت است و می‌توان با استفاده از این موضوع فلز کادمیوم را خاک‌های زراعی حذف کرد. براساس نتایج بدست آمده میزان جذب گونه قارچ فوزاریوم سولانی با افزایش غلظت در مراحل اولیه افزایش پیدا کرده است ولی با افزایش بیش از حد غلظت فلز کادمیوم در غلظت‌های ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر هیچ گونه جذبی وجود نداشت. با توجه به اینکه جدایه‌های فوزاریوم سولانی قابلیت ساپروفیتی بالایی دارند و همچنین قادر هستند در شرایط محیطی نامساعد بقا داشته باشند نتایج بدست آمده در فناوری پاک‌سازی محیط زیست بسیار پرکاربرد خواهد بود.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل پایان‌نامه با عنوان «بررسی کارایی جذب کادمیوم توسط قارچ فوزاریوم سولانی جدا شده از خاک زراعی منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه» در مقطع کارشناسی ارشد است که با حمایت دانشگاه رازی اجرا شده است.

1- Sey & Belford

2- Liaquat

3- Naz

منابع

- فولادی‌فرد، رضا و عظیمی، علی‌اکبر (۱۳۹۳). ارزیابی تمایل جذب فلزات نیکل و کادمیوم توسط توده زیستی حاصل از لجن فاضلاب در مقایسه با دیگر جاذبه‌ها. *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۱۶(۳)، ۴۹-۳۵.
<https://sanad.iau.ir/Journal/jest/Article/839139>
- Abdel-Aty, A. M., Ammar, N. S., Ghafar, H. H. A., & Ali, R. K. (2013). Biosorption of cadmium and lead from aqueous solution by fresh water alga *Anabaena sphaerica* biomass. *Journal of advanced research*, 4(4), 367-74. doi:org/10.1016/j.jare.2012.07.004
- Acosta-Rodríguez, I., Cárdenas-González, J. F., Rodríguez Pérez, A. S., Oviedo, J. T., & Martínez-Juárez, V. M. (2018). Bioremoval of Different Heavy Metals by the Resistant Fungal Strain *Aspergillus niger*. *Bioinorganic chemistry and applications*, 2018, 3457196. doi:org/10.1155/2018/3457196
- An, H., Liu, Y., Zhao, X., Huang, Q., Yuan, S., Yang, X. & Dong, J. (2015). Characterization of cadmium-resistant endophytic fungi from *Salix variegata* Franch. in three Gorges Reservoir Region, China. *Microbiological research*, 176(7), 29-37. doi:org/10.1016/j.micres.2015.03.013
- Chen, J. P., Wang, L., & Zou, S-W. (2007). Determination of lead biosorption properties by experimental and modeling simulation study. *Chemical Engineering Journal*, 131(1-3), 209-15.
- Dusengemungu, L., Kasali, G., Gwanama, C., & OumaK, O. (2020). Recent advances in biosorption of copper and cobalt by filamentous fungi. *Frontiers in Microbiology*, 11, 582016. doi:10.3389/fmicb.2020.582016
- Dwivedi, S., Mishra, A., & Saini, D. (2012). Removal of heavy metals in liquid media through fungi isolated from waste water. *International Journal of Scientific and Research*, 1(3), 181-5. doi:org/10.21275/IJSR12120368
- Errasquin, E. L., & Vazquez, C. (2003). Tolerance and uptake of heavy metals by *Trichoderma atroviride* isolated from sludge. *Chemosphere*, 50(1), 137-43. doi:org/10.1016/S0045-6535(02)00485-X
- Ezzouhri, L., Castro, E., Moya, M., Espinola, F., & Lairini, K. (2009). Heavy metal tolerance of filamentous fungi isolated from polluted sites in Tangier, Morocco. *African journal of microbiology research*, 3(2), 35-48. doi:org/10.5897/AJMR.9000354
- Harms, H., Schlosser, D., & Wick, L. Y. (2011). Untapped potential: exploiting fungi in bioremediation of hazardous chemicals. *Nature Reviews Microbiology*, 9(3), 177. doi:10.1038/nrmicro2519
- Isildak, O., Türkekel, I., Elmastaş, M., & Aboul-Enein, H. Y. (2007). Bioaccumulation of heavy metals in some wild-grown edible mushrooms. *Analytical Letters*, 40: 1099-1116. doi:10.1080/00032710701297042
- Kapahi, M., & Sachdeva, S. (2017). Mycoremediation potential of *Pleurotus* species for heavy metals: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, 4(1), 4, 32. doi:10.1186/s40643-017-0162-8
- Khamesy, S., Hamidian, A., & Atghia, O. (2016). Identification of the fungi absorbing heavy metals isolated from waste deposits of zinc factories. *Mycologia Iranica*, 3(1), 65-73. doi:10.22043/mi.2017.42384.1070
- Kotnala, S., Tiwari, S., Nayak, A., Bhushan, B., Chandra, S., Medeiros, C. R., & Coutinho, H. D. M. (2025). Impact of heavy metal toxicity on the human health and environment. *Science of the Total Environment*, 987, 179785. doi:org/10.1016/j.scitotenv.2025.179785
- Kumar, V. & Dwivedi S.K. (2021). Mycoremediation of heavy metals: processes, mechanisms and affecting factors. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(9), 10375-10412. doi:org/10.1007/s11356-020-11491-8
- Lamrood, P. Y., & Ralegankar, S. D. (2013). Biosorption of Cu, Zn, Fe, Cd, Pb and Ni by non treated biomass of some edible mushrooms. *Asian Journal of Experimental Biological Sciences*, 14(2), 190-195.
- Liang, X. J., Kierans, M., Ceci, A., Hillier, S., & Gadd, G. M. (2016). Phosphatase-mediated bioprecipitation of lead by soil fungi. *Environmental Microbiology*, 18(1): 219-231. doi:org/10.1111/1462-2920.13003
- Liaquat, F., Munis, M. F. H., Haroon, U., Arif, S., Saqib, S., Zaman, W., Khan, A. R., Shi, J., Che, S., & Liu, Q. (2020). Evaluation of metal tolerance of fungal strains isolated from contaminated mining soil of Nanjing, China. *Biology*, 9, 469. doi:org/10.3390/biology9120469
- Meharg, A. A. (2005). Mechanisms of plant resistance to metal and metalloid ions and potential biotechnological applications. *Plant and Soil*, 274(1), 163-74. doi:org/10.1007/s11104-004-0262-z

- Mesquita, V. A., Silva, C. F., & Soares, E. V. (2016). Toxicity Induced by a Metal Mixture (Cd, Pb and Zn) in the Yeast *Pichia kudriavzevii*: The Role of Oxidative Stress. *Current Microbiology*, 72(5):545–550. doi:org/10.1007/s00284-016-0987-y
- Mohammadzadeh, Kr., Chorom, M., Motamedi, H., & Mohabat, A. (2014). Biosorption and bioaccumulation of Cd and Ni in competitive solution by three bacteria isolated from polluted soils to sewage sludge. *Journal of Microbial World*, 7(3), 241-251. dor:20.1001.1.23832738.1398.32.2.10.5
- Naz, H., Sayyed, R., Khan, R. U., Naz, A., Wani, O. A., Maqsood, A., Maqsood, S., Fahad, A., Ashraf, S., & Show, P. L. (2023). Mesorhizobium improves chickpea growth under chromium stress and alleviates chromium contamination of soil. *The Journal of Environmental Management*, 338, 117779. doi:org/10.1016/j.jenvman.2023.117779
- Qiu, J., Song, X., Li, S., Zhu, B., Chen, Y., Zhang, L., & Li, Z. (2021). Experimental and modeling studies of competitive Pb (II) and Cd (II) bioaccumulation by *Aspergillus niger*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105, 6477–6488. doi:org/10.1007/s00253-021-11497-3
- Sey, E., & Belford, E. J. (2021). Heavy metals tolerance potential of fungi species isolated from gold mine tailings in Ghana. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*. https://publish.kne-publishing.com/index.php/JEHSD/article/download/5765/5708
- Sharma, K. R., Giri, R., & Sharma, R. K. (2023). Efficient bioremediation of metal containing industrial wastewater using white rot fungi. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(1), 943-950. doi:org/10.1007/s13762-022-03914-5
- Short, D. P., O'Donnell, K., Thrane, U., Nielsen, K. F., Zhang, N., Juba, J. H., & Geiser, D. M. (2013). Phylogenetic relationships among members of the *Fusarium solani* species complex in human infections and the descriptions of *F. keratoplasticum* sp. nov. and *F. petroliphilum* stat. nov. *Fungal Genetics and Biology*, 53, 59-70. doi:10.1016/j.fgb.2013.01.004
- Singh, M., Srivastava, P., Verma, P., Kharwar, R., Singh, N., & Tripathi, R. (2015). Soil fungi for mycoremediation of arsenic pollution in agriculture soils. *Journal of applied microbiology*, 119(5), 1278-90. doi:10.1111/jam.12948
- Suhadolc, M., Schroll, R., Gatteringer, A., Schlöter, M., Munch, J.C., & Lestan, D. (2004). Effects of modified Pb-, Zn-, and Cd-availability on the microbial communities and on the degradation of isoproturon in a heavy metal contaminated soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(12), 1943-54. doi:10.1016/j.soilbio.2004.05.015
- Vaksmas, A., Guerrero-Cruz, S., Ghosh, P., Zeghal, E., Hernando-Morales, V., & Niemann, H. (2023). Role of fungi in bioremediation of emerging pollutants. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1070905. doi:org/10.3389/fmars.2023.1070905
- Volesky, B., & Holan, Z. (1995). *Biosorption of heavy metals. Biotechnology progress*, 11(3), 235-50. doi:10.1021/bp00033a001
- Yang, Y. Y., Song, W. J., Ferrier, J., Liu, F. X., Csetenyi, L., & Gadd, G. M. (2020). Biorecovery of cobalt and nickel using biomass-free culture supernatants from *Aspergillus niger*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(1), 417–425. doi:org/10.1007/s00253-019-10241-2