

# بررسی جذب زیستی فلزهای سنگین روی و کبالت توسط *Phanerochaet crysosperium* PTCC 5270 قارچ غیر زنده

مریم محمدی‌ها، حسین امانی\*<sup>+</sup>

گروه بیوتکنولوژی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

حسن کریمی‌نژاد

دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

**چکیده:** در این پژوهش جذب سطحی کاتیون‌های کبالت و روی توسط زیست توده غیر زنده PTCC5270 *Phanerochaet crysosperium* مورد بررسی قرار گرفت. برای به دست آوردن نقطه بهینه جذب، اثرهای تغییر pH، غلظت زیست توده، زمان تماس و دما در جذب سطحی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج‌های این پژوهش نشان داد بیشینه جذب فلز روی از محلول توسط بیومس در  $pH=7$  و برای فلز کبالت در  $pH=4$  رخ می‌دهد. همچنین زمان مناسب برای انجام فرایند جذب برای روی ۱۲۰ دقیقه و برای کبالت ۹۰ دقیقه به دست آمد. براساس نتیجه‌های این پژوهش مشخص شد که بهترین دما برای حذف فلزهای روی و کبالت،  $35^{\circ}C$  می‌باشد. سرانجام در غلظت  $5\text{ g/L}$  از قارچ غیر زنده بیش‌ترین مقدار جذب برای هر دو فلز دیده شد. در نقطه بهینه بیشینه یون فلزی جذب شده توسط زیست توده برای فلز روی  $15.46\text{ mg/g}$  و برای فلز کبالت  $14.32\text{ mg/g}$  به دست آمده است. با توجه به نتیجه‌های به دست آمده می‌توان گفت قارچ غیر زنده *Phanerochaet crysosperium* PTCC5270 یک جاذب زیستی مناسب و ارزان برای حذف فلزهای سنگین روی و کبالت از محلول آبی می‌باشد و می‌تواند در صنایع به عنوان یک روش زیستی استفاده شود.

**واژه‌های کلیدی:** جذب زیستی؛ فلزهای سنگین؛ روی؛ کبالت؛ *Phanerochaet crysosperium*

**KEYWORDS:** Biosorption; Heavy Metals; Zinc; Cobalt; *Phanerochaet crysosperium*.

## مقدمه

از محیط آبی، موضوع مهمی در بهداشت عمومی جامعه به حساب می‌آید. صنایعی مانند معدن، تولید کود شیمیایی، دباغی، باتری‌سازی، تولید کاغذ، کارخانه‌های روغن نباتی و تولید آفت کش‌ها از جمله مهم‌ترین تولید کنندگان فلزهای سنگین هستند. ورود فلزهای سنگین به بدن باعث بروز آسیب‌هایی مانند اختلال‌های عصبی، انواع سرطان‌ها، اختلال‌های تنفسی و قلبی عروقی، آسیب به کبد

یکی از مهم‌ترین مسأله‌های دنیای امروز، آلودگی محیط زیست به فلزهای سمی و خطرناک می‌باشد. استخراج فلز از معدن و کاربرد گسترده فلزهای سنگین در صنایع باعث شده است که غلظت این فلزها در آب، پساب و خاک افزایش پیدا کند. تمایل شدید کاتیون‌های این فلزها به گوگرد باعث مختل شدن فعالیت آنزیم‌های حیاتی در موجودهای زنده می‌شود. بنابراین حذف فلزهای سنگین

\*عهده دار مکاتبات

+E-mail: hamani@nit.ac.ir

نیز شرایط بهینه جذب سطحی فلزهای کادمیوم و سرب از محلول‌های آبی به وسیله زیست توده جلبک قهوه‌ای سیستوسرا ایندیکا بررسی نمودند. طبق پژوهش آن‌ها بیش‌ترین مقدار جذب توسط جلبک برای کادمیوم ۸۲/۹٪ و برای سرب ۷۳/۲٪ دیده شد. همچنین جذب زیستی فلز نیکل توسط *احمدی و جعفری* [۱۱] به‌وسله سودومناس آرجینوزا بررسی شد. آن‌ها بیش‌ترین مقدار جذب را ۶۴۴ میلی گرم به گرم وزن زیست توده خشک شده به‌دست آوردند. *خسروان و همکاران* [۱۲] نیز به مقایسه جذب زیستی فلز سنگین روی توسط چهار نوع زیست توده میکروبی فعال (لجن فعال) در تصفیه زیستی پساب‌های صنعتی پرداختند. آن‌ها گزارش کردند که ۳۰ میلی لیتر از لجن فعال کارخانه‌های نوشابه گاز دار، روغن نباتی، شیر و کشتارگاه صنعتی پرندگان می‌تواند در مدت ۱۵۰ دقیقه به ترتیب ۸۲٪، ۳۳/۴٪، ۴۸/۹٪ و ۵۱/۵٪ غلظت اولیه روی را در محلول کاهش دهد. *حسین‌زاده و همکاران* [۱۳] نیز در پژوهش خود به بررسی کارایی حذف فلزهای سنگین از پساب صنعتی در شهرک صنعتی شکوهیه استان قم به وسیله سامانه راکتور زیستی غشایی پرداختند. در سامانه آن‌ها، از ۳۲ لیتر لجن فعال که شامل انواع میکروارگانیسم‌ها بود استفاده شد. نتیجه‌های پژوهش آن‌ها نشان داد که راندمان حذف فلزهای آلومینیوم، آهن، سرب، مس، نیکل و کروم ذکر شده به ترتیب ۸۱٪، ۵۳٪، ۹۴٪، ۹۱٪، ۵۹٪ و ۴۹٪ می‌باشد. همچنین *کارلتی و همکاران* [۱۴] در پژوهش خود نشان دادند که سیستم بیور آکتور غشایی قادر به حذف ۷۰٪ فلزهای سنگین سرب، آهن، کادمیوم، مس و نیکل از پساب بود. با توجه به اثبات توانایی گروهی از میکروارگانیسم‌ها در جذب فلزهای سنگین و همچنین ظرفیت بالای این بیو جاذب‌ها، هدف اصلی این تحقیق نیز بررسی مقدار جذب سطحی کاتیون‌های فلزهای سنگین کبالت و روی که به‌طور معمول از پساب کارخانه‌های روغن بیرون می‌آید و باعث آلودگی محیط زیست منطقه شده‌اند می‌باشد [۲]. برای بررسی این موضوع از بیومس غیر زنده *Phanerochaet crysosperium PTCC5270* به عنوان یک مدل استفاده شد. بدین ترتیب امید است استفاده از نتیجه‌های این مقاله در جهت بهبود کیفیت محیط زیست مفید واقع شود.

### بخش تجربی

#### بیوجاذب

در این پژوهش از قارچ *Phanerochaet crysosperium PTCC5270* به عنوان بیو جاذب استفاده شد. این بیو جاذب از دانشگاه صنعتی امیرکبیر، آزمایشگاه بیوتکنولوژی تهیه شد.

و کلیه و مغز، به‌هم خوردن تعادل هورمونی و... می‌شود [۶-۱]. روش‌های متداول حذف فلزهای سنگین از پساب صنایع شامل فرآیندهای مختلفی مانند انعقاد، تبادل یون، اسمز معکوس، تبخیر و صاف کردن است [۲]. از عیب‌های این فرایندها نیاز به انرژی بالا، پرهزینه بودن فرآیند و راندمان اندک آن‌ها است. بنابراین امروزه جذب زیستی به عنوان یک گزینه جدید مورد توجه خاص قرار گرفته است. جذب زیستی فرایندی است که با کمک مواد بیولوژیکی مانند؛ باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و باقیمانده مواد کشاورزی با ایجاد کمپلکس با فلزهای سنگین، به دلیل وجود گروه‌های خاص منجر به جدا سازی آن‌ها از محیط‌های آبی می‌شود. مکانیسم عمل جذب زیستی به طور معمول یا مربوط به اتصال شیمیایی بین گروه‌های سطح جاذب و یون‌های فلز (جذب متابولیک) و یا واکنش تبادل یون بخاطر ظرفیت تبادل یونی بالای جاذب است (جذب فیزیکوشیمیایی) می‌باشد. از آنجائی که جذب زیستی فرایندی کم هزینه، دوستدار محیط زیست و دارای کارایی درخشان در جذب است به‌عنوان یک گزینه کارآمد در مقابل روش‌های معمول حذف فلزهای سنگین از محیط آبی در حال توسعه است [۷، ۶]. در واقع کوچک بودن سایز میکروارگانیسم‌ها، سرعت تکثیر بالا و کم هزینه بودن آن باعث شده است که پژوهشگران توجه بیشتری به جاذب‌های میکروبی داشته باشند. در بین میکروارگانیسم‌ها قارچ‌ها جاذب بهتری هستند زیرا در محیط‌های قلیایی جذب بهتری از خود نشان می‌دهند و همچنین دیواره سلولی آن‌ها دارای گروه‌های کربوکسیلات و فسفات می‌باشند. اگر جاذب زیستی غیر زنده باشد فرایند جذب فلزهای سریع بوده و مستقل از چرخه متابولیک می‌باشد. در واقع در فرایند غیر زنده فلزهای سنگین به دیواره سلول متصل می‌شوند درحالی که در فرایند زنده ممکن است فلزهای سنگین از دیواره سلولی عبور کنند و وارد سلول شوند. نمونه‌های موفق از جاذب‌های زیستی در جذب فلزهای سنگین گزارش شده است به‌عنوان نمونه طرفی و همکاران [۸] به بررسی عملکرد جاذب باگاس نیشکر به‌صورت خام، فرآوری شده و بیوجار در جذب فلزهای سنگین از پساب‌های صنعتی پرداختند. در مطالعه آن‌ها این مواد در معرض فلزهای سنگین آهن، سرب، کادمیوم و نیکل قرار گرفتند. نتیجه‌های آن‌ها نشان داد بیش‌ترین راندمان حذف فلزهای سنگین در بیوجار و پس از آن در باگاس فرآوری شده است. *خلیل‌نژاد و همکاران* [۹] نیز از قارچ غیر زنده *Penicillium camemberti* برای جذب زیستی Cu(II) استفاده نمودند. آن‌ها نیز درصد جذب زیستی مس را حدود ۸۲/۵۲٪ گزارش نمودند. *جعفری و احمدی* [۱۰]

برای رشد و آماده‌سازی قرار داده شد. چگونگی غیر زنده کردن قارچ به این صورت بود که قارچ رشد پیدا کرده را نخست صاف کرده و سپس در ۵۰۰ میلی‌لیتر محیط سدیم هیدروکسید ۰/۵ نرمال به مدت ۱۵ دقیقه جوشانده شد. پس از آن برای خشک شدن در آون در دمای ۵۰ درجه به مدت ۱۲ ساعت قرار داده شد و اثر پارامترهایی مانند غلظت جاذب، pH، زمان و دما روی فرایند جذب بررسی گردید. مقدارهای یون فلزهای جذب شده در هر گرم از زیست توده با معادله (۱) به دست می‌آید [۱۵]:

$$q = \frac{(C_0 - C_e)V}{M} \quad (1)$$

که در آن:

q: مقدار فلز جذب شده نسبت به وزن توده زیستی (mg/g)

C<sub>0</sub>: غلظت اولیه یون فلز در محلول (mg/L)؛

C<sub>e</sub>: غلظت تعادلی یون فلز در محلول (mg/L)؛

V: حجم محیط (L)؛

M: مقدار توده زیستی مورد استفاده (g) می‌باشد.

### نتیجه‌ها و بحث

در این قسمت همه عامل‌های مؤثر بر جذب زیستی یون‌های روی و کبالت مانند غلظت جاذب، pH، زمان و دما توسط جاذب زیستی بررسی می‌شود و شرایط بهینه جذب به دست می‌آیند. نخست برای بررسی این موارد نیاز به به رسم منحنی برسنجی می‌باشد.

#### رسم منحنی برسنجی فلزها روی و کبالت در محلول‌ها

برای رسم منحنی برسنجی نخست محلول‌های با غلظت‌های گوناگون از روی و کبالت تهیه شد و سپس توسط دستگاه جذب اتمی جذب نمونه‌ها روی و کبالت در طول موج‌های ۲۴۰/۷ nm و ۳۰۷/۶ nm خوانده شدند. نتیجه‌ها در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

#### بررسی تأثیر pH بر جذب فلزهای سنگین روی و کبالت

pH عامل بسیار مهمی در فرایند جذب زیستی است. تغییر pH بر فعالیت شیمیایی یون‌های فلزی موجود در محلول و همچنین فعالیت گروه‌های پایه در سطح زیست توده و رقابت یون‌های فلزی با یکدیگر بسیار مؤثر است. برای بررسی این موضوع نخست ۱۰۰ mL از محلول‌های ۱۰۰ ppm روی و کبالت را

#### جدول ۱- دستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش.

مدل	دستگاه‌ها:
Varian Spectra AA 240FS	دستگاه جذب اتمی
Platinum 1.5 CFM (42 l/m) vacuum pump	پمپ خلأ
UN55	آون
JTIL200	انکوباتور
ProSET	شیکر انکوباتور
SH-AC-60M	اتوکلاو
Whatman GF-C	فیلتر

### دستگاه‌ها

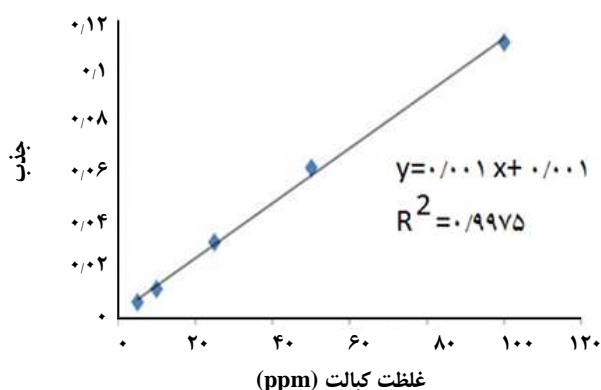
در این پژوهش از دستگاه‌های آورده شده در جدول ۱ برای بررسی روش حذف بیولوژیکی فلزهای سنگین استفاده شد. از آنجایی که بیشترین غلظت فلزهای سنگین در پساب‌های روغن نباتی Zn و Co می‌باشد بنابراین در این پژوهش نیز جذب این دو فلز بررسی شد. برای بررسی حذف زیستی فلزهای سنگین ابتدا غلظت‌های گوناگون کبالت (۲۵، ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵) و همچنین غلظت‌های گوناگون روی (۲۵، ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵) تهیه شد. غلظت فلزهای سنگین توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. برای این منظور غلظت‌های گوناگونی از کبالت و روی تهیه شده و منحنی کالیبراسیون آن‌ها رسم شد. غلظت نمونه‌ی مجهول نیز از طریق این منحنی‌ها به دست آمدند.

### روش کار

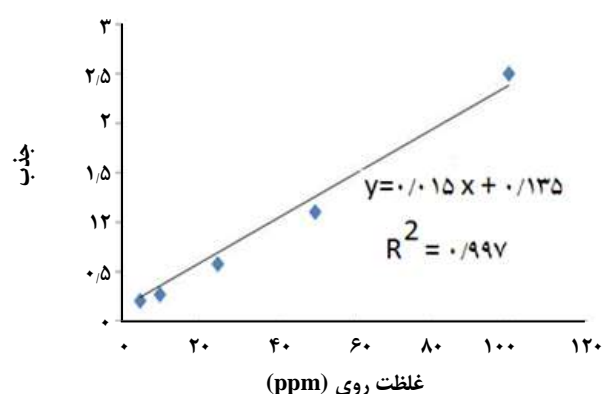
نخست یک لوپ از قارچ به محیط کشت (Potato dextrose agar) در شرایط استریل منتقل شد و در انکوباتور به مدت سه روز در دمای ۲۴ °C قرار داده شد. پس از رشد قارچ در محیط مزبور فرایند آماده‌سازی قارچ برای جذب بهتر فلزهای سنگین از پساب روغنی در طی چند مرحله صورت گرفت. در مرحله اول یک محیطی از مواد شامل گلوکز، پتاسیم دی هیدروژن فسفات، منیزیم سولفات، آمونیوم کلرید، کلسیم کلرید و تیامین در یک لیتر آب مقطر تهیه شد و سپس در ۱۲۰ °C به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو سترون شد. پس از سرد شدن یک میلی‌لیتر از قارچ کشت داده شده به محیط مواد معدنی تهیه شده منتقل شد و در شیکر انکوباتور (۴/۵) pH و در دمای (۳۵°C) به مدت سه روز

جدول ۲- مقدار جذب فلز روی توسط توده زیستی فلز روی توسط *Phanerocheat crysosperium* PTCC5270 در pH های گوناگون.

pH	جذب محلول روی	جذب محلول کبالت	غلظت روی (ppm)	غلظت کبالت (ppm)	روی q(mg/g)	کبالت q(mg/g)
۲	۱,۴۹۹۷	۰,۰۶۱۹	۵۸,۹۸	۶۰,۹	۸,۲	۷,۸۲
۳	۱,۴۲۸۵	۰,۰۴۹۱	۵۶,۲۳	۴۸,۱	۸,۷۵	۱۰,۳۸
۴	۱,۳۹۶۹	۰,۰۲۹۴	۵۰,۱۲	۲۸,۴	۹,۹۷	۱۴,۳۲
۵	۱,۲۷۰۷	۰,۰۳۹۹	۴۲,۷۱	۳۸,۷۹	۱۱,۴۵	۱۲,۲۲
۶	۱,۱۰۹۱	۰,۰۷۴۹	۴۰,۹۴	۷۳,۹	۱۱,۸۱	۱۱,۱۶
۷	۰,۴۵۳۱	۰,۰۴۷۴	۱۲,۲۰	۴۶,۴	۱۷,۵۶	۱۰,۷۲



شکل ۲- نمودار کالیبراسیون برای فلز کبالت در طول موج ۳۰۷,۶ nm.

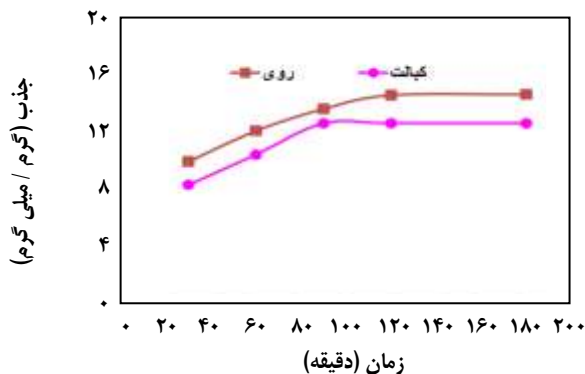


شکل ۱- نمودار کالیبراسیون برای فلز روی در طول موج ۲۴۰,۷ nm.

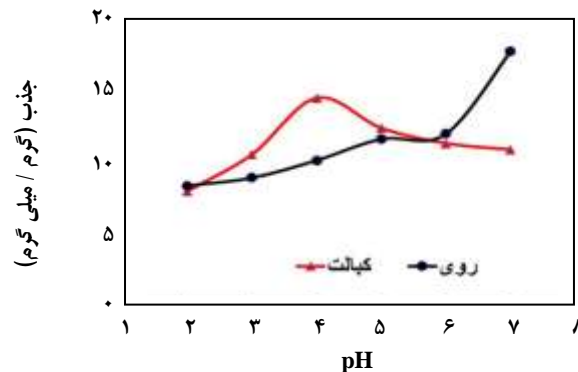
فلزی برای اتصال به سطح بیو جاذب رقابت به وجود می‌آید بنابراین میزان جذب فلز در pH های پایین کم است (ظرفیت جذب زیستی پایین زیست توده ده pH= ۲ به دلیل مقادیر بالای پروتون در رقابت با کاتیون‌های فلزی است که برای رسیدن به سطوح قارچ است پیروز می‌شود). می‌توان گفت pH محیط بر حلالیت یون‌های فلزی و یونیزه شدن گروه‌های پایه (کربوکسیلات، فسفات، و گروه‌های آمینو) در دیواره سلولی اثر می‌گذارد که این امر می‌تواند به دلیل هیدرولیز فلزها و تشکیل کمپلکس باشد. افزایش pH از ۷ امکان پذیر نیست زیرا باعث رسوب فلز شده و از محلول خارج می‌شود. همچنین همان‌گونه که در شکل ۳ دیده می‌شود بیشترین جذب فلز کبالت از محلول توسط زیست توده در pH= ۲ می‌باشد که برابر ۱۴,۳۲ mg/g است. بر اساس شکل ۳ زمانی که pH از ۲ به ۴ افزایش می‌یابد مانند حالت پیش جذب یون‌های فلزی کبالت نیز به تدریج افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند به دلیل تشکیل کمپلکس باشد. ولی همان‌گونه که دیده می‌شود وقتی pH از ۴ بیشتر می‌شود

در ظروف جداگانه ریخته و pH آن را در ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ تنظیم می‌شوند. سپس ۵ g/L از قارچ غیر زنده را به هر یک از ظرف‌ها افزوده شده و به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۳۵°C در شیکر با دور ۱۵۰ rpm قرار داده می‌شوند. با داشتن مقادیرهای جذب از دستگاه جذب اتمی در pH های گوناگون، غلظت فلزهای روی و کبالت در حالت تعادلی از نمودارهای ۱ و ۲ خوانده می‌شوند و سرانجام با استفاده از رابطه ۱، مقادیرهای q در pH به دست می‌آیند. نتیجه‌های به دست آمده در جدول ۲ و همچنین شکل ۳ آورده شده است.

بر طبق شکل ۳ برای فلز روی زمانی که pH از ۲ به ۷ افزایش می‌یابد، جذب یون‌های فلزی نیز به تدریج افزایش می‌یابد. آزمایش‌ها نشان می‌دهد جذب بیشینه فلز روی از محلول توسط زیست توده در pH= ۷ می‌باشد که برابر ۱۷,۵۶ mg/g می‌باشد. افزایش جذب با افزایش pH می‌تواند به دلیل در دسترس بودن گروه‌های باردار منفی در سطح جاذب در فرآیند جذب فلز باشد. کاتیون روی توسط گروه‌های عاملی با بار منفی از محلول جذب سطحی می‌شوند. در مقادیر pH پایین‌تر، بین یون‌های H<sup>+</sup> و یون



شکل ۴- مقدار حذف فلز روی و کبالت بر حسب زمان با استفاده از جاذب زیستی غیر زنده *Phanerochaete crysosperium* PTCC5270



شکل ۳- تأثیر pH بر حذف فلز روی و کبالت توسط جاذب زیستی *Phanerochaete crysosperium* PTCC5270

### بررسی تأثیر دما بر فلزهای سنگین روی و کبالت

نخست ۱۰۰mL از محلول های ۱۰۰ppm های روی و کبالت را در ظرفهای جداگانه ریخته و pH آنها را به ترتیب در ۷ و ۴ تنظیم نموده و سپس ۵ g/L قارچ *Phanerochaete crysosperium* PTCC5270 را به ظروف افزوده می‌شوند. ظرف روی به مدت ۱۲۰ دقیقه و ظرف کبالت به مدت ۹۰ دقیقه در دماهای ۲۵°C، ۳۰°C، ۳۵°C در شیکرانکوباتور با دور ۱۵۰rpm قرار داده شدند. پس از به‌دست آوردن مقادیر غلظت و جذب در دماهای گوناگون نتیجه‌های به دست آمده در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که در جدول ۳ دیده می‌شود با افزایش دما مقادیر q برای هم فلز روی و هم کبالت زیاد می‌شوند. به نظر می‌رسد با افزایش دما تعداد برخوردهای بین ذره‌ها و سطح جاذب زیاد شده و میزان جذب نیز زیاد می‌شود. با توجه به نتیجه‌های موجود در جدول ۳ دیده می‌شود برای هر دو فلز دما ۳۵ سلسیوس دمای بهینه برای جذب می‌باشد.

### بررسی اثر غلظت بیوجاذب بر جذب فلزهای سنگین روی و کبالت

در این آزمایش ابتدا ۱۰۰ml از محلول های ۱۰۰ppm روی و کبالت را در ظروف جداگانه ریخته و pH آن را به ترتیب در ۷ و ۴ تنظیم شدند. سپس مقادیر ۴، ۵، ۸، ۱۲ از قارچ غیر زنده *Phanerochaete crysosperium* PTCC 5270 را به ظروف مورد نظر افزوده شدند. ظرف حاوی روی به مدت ۱۲۰ دقیقه و ظرف دارای کبالت به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۳۵°C در شیکر با دور ۱۵۰rpm قرار داده شد. نتیجه‌های حاصل در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود نخست وقتی غلظت زیست توده زیاد می‌شود جذب فلز روی و کبالت به دلیل سطح بزرگتر

با کاهش جذب روبرو می‌شویم، این امر می‌تواند به دلیل رسوب فلز کبالت در pH های بالاتر از ۴ باشد.

### بررسی تأثیر زمان تماس در جذب فلزهای سنگین روی و کبالت

ابتدا ۱۰۰ml از محلول های ۱۰۰ppm روی و کبالت را در ظرفهای جداگانه ریخته و pH آن را به ترتیب در ۷ و ۴ تنظیم شدند. مقدار ۵ g/L از قارچ غیر زنده *Phanerochaete crysosperium* PTCC5270 را به هر یک از ظرفها افزوده شد و سپس در شیکر انکوباتور (۳۵°C، ۱۵۰rpm) قرار داده شدند. از ظرفهای مورد نظر پس از ۱، ۲ و ۱۸۰، ۹۰، ۶۰، ۳۰ دقیقه نمونه‌گیری کرده و جذب نمونه‌ها از شکل ۱ و ۲ و مقادیر q نیز از رابطه ۱ محاسبه شدند. نتیجه‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. بررسی‌ها و نتیجه‌های به دست آمده در شکل ۴ نشان می‌دهد که فلز روی در حالت معمولی در زمان ۱۲۰ دقیقه واکنش، میزان بیش‌ترین درصد جذب را داشته و پس از گذشت زمان یاد شده میزان جذب با گذشت زمان تغییر چشمگیری ندارد. بنابراین در این آزمایش زمان تعادل ۱۲۰ دقیقه در نظر گرفته می‌شود. همچنین نتیجه‌های به دست آمده در شکل ۴ نشان می‌دهد که فلز کبالت در پس از ۹۰ دقیقه بیش‌ترین درصد جذب را داشته و بعد از گذشت زمان ذکر شده میزان جذب تغییر چشمگیری ندارد. بنابراین زمان تعادل برای کبالت نیز ۹۰ دقیقه در نظر گرفته شد. برای هر دو فلز افزایش جذب در زمان های اولیه می‌تواند به دلیل وجود مکان‌های خالی روی سطح بیو جاذب باشد که پس از مدتی آن مکان‌ها پر می‌شوند.

جدول ۳- تأثیر دما بر جذب فلز روی و کبالت در غلظت‌های مختلف.

دما (°C)	جذب محلول روی	جذب محلول کبالت	غلظت روی (ppm)	غلظت کبالت (ppm)	روی q(mg/g)	کبالت q(mg/g)
۲۵	۰٫۵۹۴۷	۰٫۳۳۳۵	۳۰٫۳۵	۳۵	۱۳٫۸۷	۱۳
۳۰	۰٫۵۶۲۵	۰٫۳۰۱۵	۲۸٫۵	۳۲٫۵	۱۴٫۳	۱۳٫۵
۳۵	۰٫۴۵۳۱	۰٫۲۹۴	۲۱٫۲۰	۲۸٫۴	۱۵٫۷۶	۱۴٫۳۲

به‌دست آمد. بنابراین با توجه به نتیجه‌های این پژوهش می‌توان گفت این بیو جاذب و روش ارزیابی شده دارای عملکرد مناسبی در حذف فلزهای روی و کبالت می‌باشد.

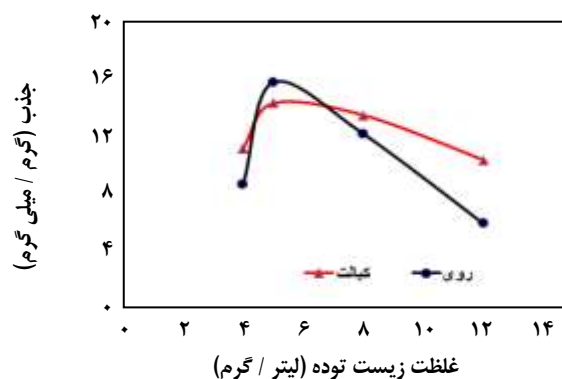
### نتیجه گیری

حضور برخی از فلزهای سنگین در زیست بوم‌های آبی، تهدیدی همیشگی برای سلامت جوامع بشری است. زیست پالایی که در آن از میکروبها برای سمیت زدایی و تجزیه آلاینده‌های زیست محیطی استفاده می‌شود، گزینه‌های مناسبی برای حذف فلزهای سنگین است. جذب زیستی فلزهای سنگین یک فرایند بسیار مؤثر در حذف یون‌های فلزهای سنگین از محلول‌های آبی است. در این پژوهش جذب سطحی کاتیون‌های روی و کبالت توسط زیست توده غیر زنده *Phanerochaet crysosperium* PTCC 5270 به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. اثر تغییر pH دما، زمان تماس و مقدار زیست توده غیر زنده در جذب سطحی مورد بررسی قرار گرفته است و نقطه بهینه آن مشخص شد. در این پژوهش مشخص شد *Phanerochaet crysosperium* PTCC 5270 جاذب زیستی مناسبی برای حذف کبالت و روی می‌باشد. بنابراین نتیجه‌های این پژوهش می‌تواند به عنوان یک روش موفقیت آمیز جهت حذف فلزهای سنگین استفاده گردد.

### قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل به دلیل حمایت مالی (اعتبار پژوهشی شماره BNUT/۳۷۰۳۴۲/۹۶) اعلام می‌دارند.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۱۱



شکل ۵- تأثیر مقدار بیوجاذب بر جذب فلزهای روی و کبالت.

جذب افزایش می‌یابد اما وقتی مقدار بیوجاذب از ۵ g/L بیشتر می‌شود مقدار جذب یون‌های فلزی نیز کاهش می‌یابند. بر طبق شکل ۵ مشخص شد که ۵ g/L از بیومس بیشترین جذب را برای هر دو فلز نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد افزایش غلظت جاذب زیستی تا ۵ g/L باعث افزایش سطح تماس بیشتر زیست توده می‌شود و در نتیجه غلظت یون فلز جذب شده نیز بیشتر می‌شود. افزایش بیشتر در غلظت جاذب زیستی باعث شکل‌گیری چسبندگی یا متراکم شدن زیست توده و سپس کاهش سطح تماس را در پی دارد که این موضوع را می‌توان دلیل کاهش جذب دانست. با توجه به نتیجه‌های به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان گفت جذب سطحی فلزهای کبالت و روی به وسیله جاذب زیستی یاد شده به عنوان یک فرایند مؤثر در حذف یون‌های این فلزها از محلول‌های آبی به شمار می‌رود و این روش می‌تواند در صنایع مختلف از جمله پساب‌های روغن نباتی به‌کار رود. سرانجام مقدار جذب هر دو فلز در شرایط بهینه مورد بررسی قرار گرفت. بر طبق نتیجه‌های این پژوهش در شرایط بهینه جذب روی (pH=۷، ۳۵°C، ۱۲۰ دقیقه، ۵ g/L زیست توده) بیشترین مقدار جذب برابر ۱۵/۴۶ mg/g و در شرایط بهینه جذب کبالت (pH=۴، ۳۵°C، ۹۰ دقیقه، ۵ g/L بیومس) بیشترین مقدار جذب برابر ۱۴/۳۲

## مراجع

- [۱] گلبابایی ف.، قهری ا.، صعودی م.، رحیمی فروشانی ع.، تیرگر آ.، مطالعه‌های تعادل و سینتیک جذب زیستی کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی با استفاده از دانه‌های پلیمر زانتان B82، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، (۲) ۳۰: ۱۱ تا ۲۴ (۱۳۹۰).
- [2] Tuzen M., Saygi K.O., Usta C., Soy lak M., *Pseudomonas aeruginosa* Immobilized Multiwalled Carbon Nanotubes as Biosorbent for Heavy Metal Ions, *Bioresource Technology*, **99**: 1563–1570 (2008).
- [3] Sun D.T., Peng L., Reeder W.S., Moosavi S.M., Tiana D., Britt D.K., Oveisi E., Queen W.L., Rapid Selective Heavy Metal Removal from Water by a Metal Organic Framework/ Polydopamine Composite, *ACS Cent. Sci.*, **4**: 349–356 (2018).
- [۴] اسدی نیا ه.، "بررسی تئوری‌های جذب و جذب سطحی فلزات سنگین از آب و پساب‌های صنعتی بوسیله بیوجاذب‌ها"، اولین همایش مدیریت تقاضا و بهره‌وری مصرف آب، همدان، (۱۳۹۴).
- [۵] اسلامی ا.، نعمتی ر.، بررسی حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی با استفاده از فن آوری زیست پالایی. فصل نامه بهداشت در عرصه، (۲) ۳: ۴۳ تا ۵۳ (۱۳۹۴).
- [۶] قربانی م.، رهبری ک.، "بررسی فرایند PACT در حذف فلزات سنگین از پساب تولیدی صنایع فولاد"، اولین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات طبیعی و بحران‌های زیست محیطی ایران، راهکارها و چالش‌ها (۱۳۹۵).
- [۷] بویری شمی ر.، خوشدست ح.، "بررسی امکان استفاده از باطله‌های ریز دانه کارخانه زغالسویی زرنده جهت تصفیه پساب‌های آلوده"، چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران (۱۳۹۶).
- [۸] طرفی م.، ریکوند ا.، بابایی نژاد ت.، "کارایی جذب سطحی باگاس نیشکر به‌صورت خام، فرآوری شده و بیوجار در حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی"، هشتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، انجمن مهندسی محیط زیست ایران (۱۳۹۵).
- [۹] خلیل نژاد ر.، حسینی م.، جذب بیولوژیکی فلز Cu(II) توسط قارچ غیر زنده *Penicillium Camemberti*: مطالعات ناپیوسته و بستر ثابت. فصل نامه علوم و تکنولوژی مهندسی محیط زیست، (۲) ۱۹: ۷۳ تا ۸۶ (۱۳۹۶).
- [۱۰] جعفری ن.، احمدی س.، جذب سطحی فلزهای کادمیوم و سرب از محلول‌های آبی به وسیله بیومس جلبک قهوه ای سیستوسرا ایندیکا، مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، (۱) ۲۷: ۲۳ تا ۳۱ (۱۳۹۳).

- [۱۱] احمدی س.، جعفری ن.، جذب زیستی فلز نیکل از محلول آبی به وسیله باکتری *Pseudomonas*، زیست‌شناسی کاربردی، ۱ تا ۱۲ (۱۳۹۱).
- [۱۲] خسروان آ.، امینی ج.، سر سالاری س.، روحانیان ا.، مقایسه جذب بیولوژیک فلز سنگین روی به وسیله چهار نوع بیومس میکروبی (لجن فعال) به منظور تصفیه بیولوژیک فاضلاب‌های صنعتی. مجله دنیای میکروب‌ها، ۲(۱): ۲۳ تا ۳۰ (۱۳۸۸).
- [13] Hosseinzadeh M., Bidhendi G.N., Torabian A., Mehrdadi N., *A Study on Membrane Bioreactor for Water Reuse from the Effluent of Industrial Town Wastewater Treatment Plant, Iranian Journal of Toxicology*, **8**(24):983-990 (2014).
- [14] Carletti G., Pavan P., Bolzonella D., Cavinato C., “*Occurrence and Removal of Heavy Metals from Industrial and Municipal Wastewater: a Comparison between MBR and Conventional Activated Sludge Processes (CAS)*”, *Interuniversity Consortium Chemistry for the Environment (INCA)*, via delle Industrie 2118 Marghera, Venice, Italy (2013).
- [15] Marandi R., Doulati F., Amir Afshar H., *Biosorption of Lead (II) Ions by pre-Treated Biomass of Phanerochaete Chrysosporium, International Journal of Mining & Environmental Issues*, **1**(1): 9-16(2010).