



دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی شیمی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی شیمی
گرایش ترمودینامیک و سینتیک

عنوان پایان نامه

**بهبود جاذب *Saccharomyces cerevisiae* به روش شکست سلولی و بررسی عملکرد آن
برای جذب فلزات سنگین**

استادان راهنما

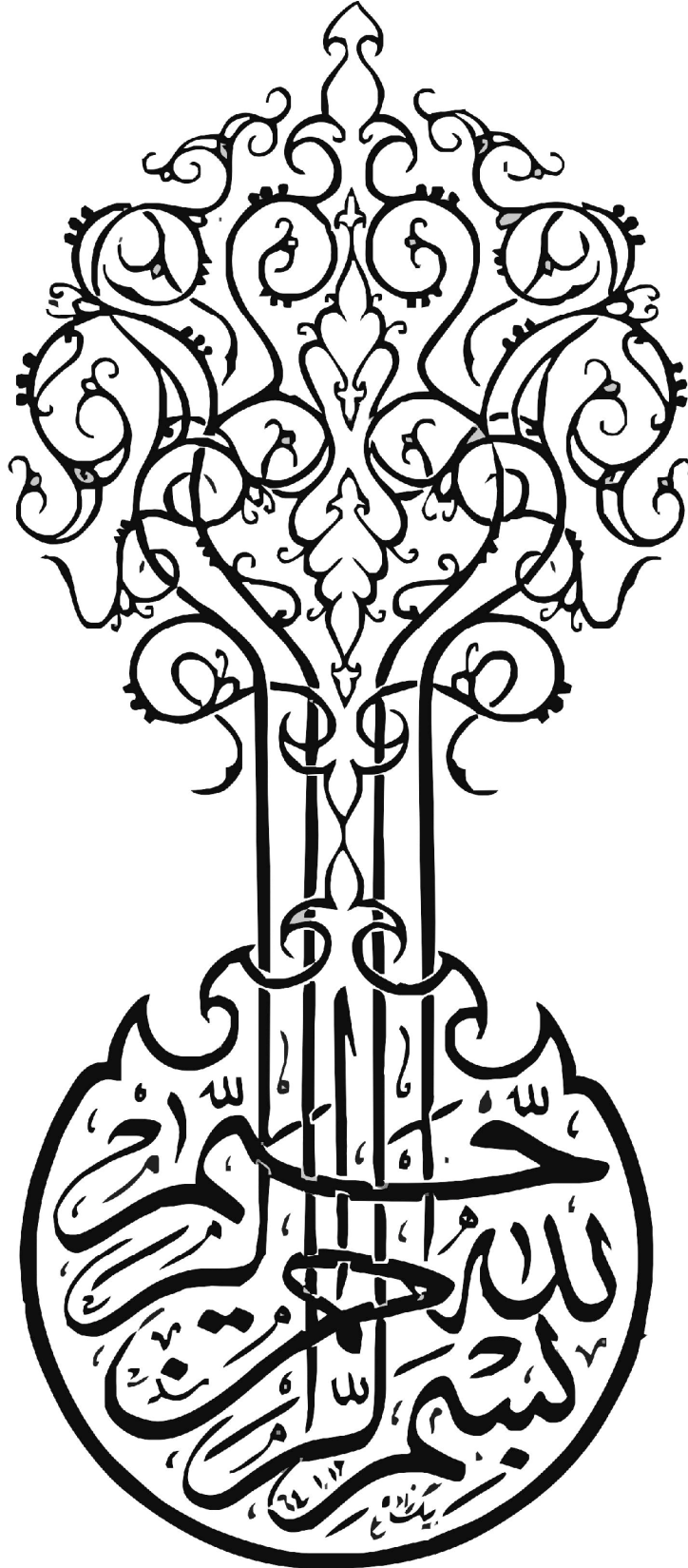
دکتر شهرام شریف نیا

دکتر سیدنظام الدین حسینی

نگارش:

معصومه گوهری

تیر ماه ۱۳۹۰



کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.



دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی شیمی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی شیمی
گرایش ترمودینامیک و سینتیک

عنوان پایان نامه

**بهبود بیومس *Saccharomyces cerevisiae* به روش شکست سلولی و بررسی عملکرد آن برای
جذب فلز سنگین**

استادان راهنما:

دکتر شهرام شریف نیا

دکتر سیدنظام الدین حسینی

نگارش:

معصومه گوهری

تیر ماه ۱۳۹۰

تقدیم به

به پدر و مادرم

که از نگاهشان عشق را حس کردم

و

در وجودشان انسانیت را یافتم.

چکیده :

حدود پنجاه سال است که غلظت بالای فلزات سنگین و آلودگی ناشی از آن، سلامت محیط زیست و موجودات زنده را تهدید می‌کند. فلزات سنگین محدود به یک صنعت خاص نمی‌شود. در واقع در اکثر صنایع موجود از کارخانه‌های شیمیایی گرفته تا صنایع چرم سازی، خودروسازی، چاپ، تولید مواد شوینده و آرایشی، همگی به نوعی از تخلیه کنندگان فلز سنگین به محیط زیست می‌باشند. اما متأسفانه تمهیدات جدی برای مقابله با این معضل، در نظر گرفته نشده و چه بسا بسیاری از این کارخانه‌ها پساب‌های خود را بدون هیچ گونه تصفیه‌ای، به محیط تخلیه می‌کنند. روش‌های فیزیکوشیمیایی برای حذف فلزات سنگین بارها مطالعه شده است، و استفاده از آنها مرسوم است. از معایبی که در رابطه با این روش‌ها وجود دارد می‌توان به پرهزینه بودن و آلودگی‌های ثانویه به جا مانده از مراحل تصفیه اشاره کرد. به همین خاطر بسیاری از صنایع، ترجیح می‌دهند که فاضلاب‌های خود را بدون هیچ گونه هزینه‌ای به محیط زیست خالی کنند تا اینکه متعهد به پرداخت هزینه‌های بالا جهت تصفیه فلز سنگین، بشوند. به همین منظور مطالعه بر روی روش‌های سازگارتر با محیط زیست و کم هزینه تر در دست بررسی می‌باشد. استفاده از جاذب‌های بیولوژیکی یکی از این روش‌ها می‌باشند. در عین حال استفاده از نوع ماده بیولوژیکی، هزینه تولید آن، قابلیت جذب آن، دردسترس بودن آن و بسیاری پارامترهای دیگر از عوامل مهم در انتخاب نوع ماده بیولوژیکی می‌باشد.

میکروارگانیزم *Saccharomyces cerevisiae*، از جمله مخمرهایی است که به آسانی می‌تواند در دسترس باشد، هزینه تولید بسیار پایین آن و بی ضرر بودن آن برای محیط زیست بارها طی مطالعات تحقیقاتی به اثبات رسیده است. طی تحقیقات اخیر نشان داده شده که استفاده از سلول‌های غیر زنده میکروارگانیزم‌ها با محدودیت‌های عملیاتی کمتری مواجه بوده و در بعضی میکروارگانیزم‌ها مانند *S.cerevisiae*، قابلیت جذب بالاتری نیز در مقایسه با سلول‌های زنده خواهند داشت. از طرفی دیگر، روش‌هایی برای افزایش کارایی اینگونه جاذب‌ها مانند روش‌های شیمیایی و فیزیکی مختلف، بر روی جاذب‌ها انجام شده است که در بسیاری موارد منجر به بالا رفتن ظرفیت جذب و در موارد اندکی بنا به مورد جاذب و نوع روش فرآوری، منجر به کاهش ظرفیت جذب شدند.

میکروارگانیزم *S.cerevisiae* به راحتی و ارزانی قابل کشت می‌باشد و همچنین بسیاری از صنایع دارویی و غذایی، سلول‌های شکسته شده این میکروارگانیزم را (پس از استفاده مواد درون سلولی) به عنوان دورریز دفع می‌کنند. لذا سعی شد که با شکستن سلول‌های *S.cerevisiae*، میکروارگانیزمی مانند این مواد دورریز شبیه سازی شده و به عنوان جاذب فلزات سنگین استفاده شود و تاثیر شکست سلولی بر روی عملکرد جذب، بررسی شود. شکست دیواره‌ی سلولی میکروارگانیزم با استفاده از دانه‌های ریز شیشه‌ای (glass bead)، روشی است که در این تحقیق به عنوان روشی جدید برای اصلاح بیومس جهت افزایش ظرفیت جذب بررسی شد. از آنجا که پارامترهای عملیاتی مانند غلظت اولیه فلز، pH محلول، دوز جاذب، دمای خشک شدن جاذب و زمان تماس، بر روی سیستم جذب تاثیر می‌گذارند، تاثیر این پارامترهای عملیاتی طی

یک سری آزمایشات مرتب شده توسط طراحی آزمایشات به روش پاسخ سطوح، مطالعه شد و سپس شرایط بهینه عملیاتی به دست آمد و ایزوترم‌های جذب و سینتیک جذب در این نقاط بهینه، بررسی شد. مقایسه نتایج ظرفیت جذب به دست آمده از بیومس اولیه (9.10 mg/g) و بیومس اصلاح شده به روش شکست سلولی (14.73 mg/g)، افزایش ظرفیت جذب بیومس را در اثر شکست سلولی تا 42.56% را نشان داد. شرایط بهینه پارامترهای عملیاتی به دست آمده از تحلیل آماری برای جذب اصلاح شده مطابق غلظت اولیه فلز برابر 100 ppm، pH برابر 5، دوز جذب برابر 0.3 g/100 ml solution، دمای خشک کردن جذب برابر 190 °C و زمان تماس یون فلزی با سطح جذب برابر 120 دقیقه، به دست آمد. مطالعه سطح جذب به روش‌های FTIR، BET و SEM و بررسی مکانیسم جذب به کمک آنها انجام شد. با مطالعه سطح جذب قبل و بعد از اصلاح (شکست سلولی) با استفاده از طیف FTIR، معلوم شد که گروه‌های عاملی کربوکسیل و هیدروکسیل و آمین‌ها همگی در برقراری پیوند با یون‌های مس و تشکیل کمپلکس سهیم بوده اند ولی عوامل اصلی در بهبود ظرفیت جذب، بعد از اصلاح جذب، پدید آمدن گروه‌های عاملی دی سولفیدی و اتم‌های کلر دارای زوج الکترون آزاد بر روی سطح سلول، در اثر شکست دیواره سلولی، می‌باشند. مقایسه تصاویر SEM برای قبل و بعد از اصلاح بیومس (شکست سلولی) حاکی از ریز شدن سلول‌های بیضی شکل اولیه و افزایش سطح و یکنواخت شدن سطح بیومس، می‌باشد. مقایسه SEM قبل و بعد از جذب یون فلزی بر روی بیومس اصلاح شده (شکسته شده)، تغییر مورفولوژی سلولی را تحت تاثیر جذب فلز و قرار گرفتن یون‌های فلزی روی سلول‌ها، را نشان می‌دهد. نتایج BET هم تائید کننده افزایش مساحت سطح جذب در اثر اصلاح بیومس (شکست سلول)، می‌باشد.

کلمات کلیدی: فلز سنگین، جذب بیولوژیکی، *Saccharomyces cerevisiae*، شکست سلولی، طراحی آزمایشات، پاسخ سطحی، BET، SEM، FTIR

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول : مقدمه ای بر روش‌های متداول حذف و سیستم‌های جذب بیولوژیکی

۲	۱-۱- مقدمه
۴	۲-۱- روشهای فیزیکوشیمیایی برای حذف فلزات سنگین
۵	۱-۲-۱- حذف فلزات سنگین با استفاده از رسوب گذاری و فیلتراسیون
۵	۲-۲-۱- فرآیند تعویض یونی برای حذف فلزات سنگین
۶	۳-۲-۱- حذف فلزات سنگین با استفاده از روش جذب سطحی
۶	۴-۲-۱- حذف فلزات سنگین با استفاده از روش شناورسازی یونی
۷	۳-۱- روشهای بیولوژیکی برای حذف فلزات سنگین
۸	۱-۳-۱- تجمع بیولوژیکی
۸	۲-۳-۱- جذب بیولوژیکی
۱۰	۴-۱- ساختمان سلولی میکرو ارگانیسمها
۱۱	۱-۴-۱- دسته بندی و مشخصات کلی قارچها
۱۲	۲-۴-۱- دیواره سلولی قارچها
۱۴	۵-۱- ساکارومایسز سرویسیا (<i>saccharomyces cerevisiae</i>)
۱۴	۱-۵-۱- مزایای <i>s.cerevisiae</i> به عنوان جاذب فلزسنگین
۱۵	۲-۵-۱- اشکال متفاوت <i>s.cerevisiae</i> در تحقیقات جذب بیولوژیکی
۱۶	۳-۵-۱- جذب یونهای فلزی توسط <i>s.cerevisiae</i>
۱۷	۴-۵-۱- مقایسه <i>s.cerevisiae</i> با دیگر مواد بیولوژیکی
۱۹	۶-۱- اصلاح بیومس (Biomass treatment)
۱۹	۱-۶-۱- اصلاح شیمیایی
۲۱	۲-۶-۱- اصلاح فیزیکی
۲۱	۳-۶-۱- تثبیت کردن بیومس
۲۳	۷-۱- شکست سلولهای میکروارگانیسم
۲۴	۱-۷-۱- روشهای شکست سلولی

۲۴	۱-۷-۱-۱- روش آسیاب با گلوله‌های شیشه‌ای
۲۵	۱-۷-۱-۲- روش اولتراسونیک
۲۶	۱-۷-۱-۳- هموژناسیون فشار بالا
۲۶	۱-۷-۱-۴- روش‌های فیزیکی
۲۷	۱-۷-۱-۵- نفوذپذیری شیمیایی
۲۷	۱-۷-۱-۶- شکست آنزیماتیک
۲۷	۱-۷-۱-۷- روشهای ترکیبی
۲۷	۱-۷-۲- شرایط عملیاتی موثر در شکست سلولی
۲۷	۱-۷-۲-۱- اثر PH روی شکست سلولی
۲۸	۱-۷-۲-۲- اثر دما روی شکست سلولی
۲۸	۱-۷-۲-۳- تاثیر غلظت سلولی سوسپانسیون روی شکست سلولی
۲۸	۱-۸- ایزوترم‌های تعادلی
۲۹	۱-۸-۱- ایزوترم لانگمیر
۳۰	۱-۸-۲- ایزوترم فرندلیچ
۳۰	۱-۸-۳- ایزوترم BET
۳۰	۱-۸-۴- ایزوترم هالسی
۳۱	۱-۸-۵- ایزوترم تمکین
۳۱	۱-۸-۶- ایزوترم فلوری هاگینز
۳۲	۱-۹- مدل‌های سینتیکی
۳۲	۱-۹-۱- مدل سینتیک درجه اول
۳۲	۱-۹-۲- مدل سینتیک درجه دوم
۳۳	۱-۹-۳- نفوذ درون ذره ای

فصل دوم : طراحی آزمایشات

۳۴	۱-۲- روشهای طراحی آزمایشات
۳۷	۲-۲- روش RSM
۳۹	۱-۲-۲- تحلیل داده های آزمایشگاهی با استفاده از نرم افزار
۳۹	۲-۲-۲- آزمون آماری ANOVA
۴۰	۲-۳- طراحی آزمایشات

فصل سوم: مواد و روش ها

۴۲	۱-۳- کشت میکروارگانیزم
۴۴	۱-۱-۳- نحوه تهیه محیط کشت
۴۴	۱-۲-۳- کشت میکروارگانیزم در محیط کشت مایع
۴۷	۲-۳- غیر فعال کردن سلولها
۴۷	۳-۳- شکست سلولی میکروارگانیزم
۴۷	۱-۳-۳- شکست سلولها توسط دانه های شیشه‌ای
۴۷	۲-۳-۳- شکست به روش اولتراپالس
۴۹	۳-۳-۳- تعیین درصد شکست سلولها
۴۹	۴-۳-۳- خشک کردن میکروارگانیزم
۵۰	۵-۳-۳- آسیاب کردن میکروارگانیزم
۵۰	۴-۳- آزمایشات جذب
۵۰	۱-۴-۳- تهیه محلول خوراک
۵۱	۲-۴-۳- نحوه انجام آزمایشات
۵۱	۵-۳- آنالیز محلول فلزی برای تعیین غلظت محلول فلزی
۵۴	۶-۳- تعیین مشخصات بیومس
۵۴	۱-۶-۳- آنالیز طیف (FTIR)
۵۶	۲-۶-۳- آنالیز SEM
۵۶	۳-۶-۳- آنالیز BET

فصل چهارم: نتایج و بحث

۵۷	۱-۴- تحلیل نتایج آزمایشگاهی حاصل از جذب $Cu(II)$ توسط بیومس قبل از اصلاح (شکست سلولی) با استفاده از نرم افزار Minitab
۵۸	۱-۱-۴- شرح آنالیز رگرسیون
۶۲	۲-۱-۴- منحنی ها
۶۲	۳-۱-۴- تحلیل نمودارهای پاسخ سطحی
۶۵	۴-۱-۴- تعیین نقاط بهینه جذب یونهای مس (II) بر روی بیومس قبل از اصلاح
۷۷	۲-۴- تحلیل نتایج آزمایشگاهی حاصل از جذب $Cu(II)$ توسط بیومس بعد از اصلاح (شکست سلولی) با استفاده از نرم افزار Minitab
۷۷	۱-۲-۴- شرح آنالیز رگرسیون
۸۰	۲-۲-۴- منحنی ها

۸۲	۳-۲-۴- تحلیل نمودارهای پاسخ سطحی جذب Cu(II) بر روی جاذب اصلاح شده
۸۳	۴-۲-۴- تعیین نقاط بهینه جذب یونهای مس (II) بر روی بیومس بعد از اصلاح
۹۲	۳-۴- مطالعه ایزوترمهای تعادلی
۹۵	۴-۴- مطالعه سینتیکی جذب
۹۵	۱-۴-۴- سینتیک درجه اول
۹۵	۲-۴-۴- سینتیک درجه دوم
۹۵	۳-۴-۴- نفوذ درون ذره‌ای
۹۸	۶-۴- مطالعه مشخصات سطح جاذب توسط طیف FTIR
۹۸	۱-۶-۴- مطالعه تاثیر شکست سلولی روی سطح جاذب از لحاظ گروه‌های عاملی موجود بر سطح، با کمک طیف FTIR ، قبل از تماس با یون فلزی
۱۰۲	۲-۶-۴- مطالعه تاثیر شکست سلولی روی سطح جاذب اصلاح شده (سلول‌های شکسته شده) از لحاظ گروه‌های عاملی موجود بر سطح ، بعد از جذب یون فلزی مس توسط طیف FTIR
۱۰۵	۷-۴- مطالعه سطح جاذب توسط SEM
۱۰۶	۸-۴- مطالعه سطح جاذب توسط BET

فصل پنجم: نتیجه گیری

۱۰۸	نتیجه گیری
۱۱۶	مراجع و مآخذ

فصل اول

- شکل (۱-۱) - دیواره سلولی قارچی ضخیم و محکم تشکیل شده از پلی ساکاریدها و پروتئین ها ۱۲
- شکل (۲-۱) - ساختار منان ها، سلولز، چیتین، گلوکان ۱۳
- شکل (۳-۱) - شماتیکی از سلول yeast ۱۴
- شکل (۴-۱) - شماتیک جاذب با سطح منقوش شده، 1 - هسته بیومس؛ 2- پوشش چیتوسان؛ 3- یون فلزی؛ 4 - فضای ویژه یون فلزی؛ a: مرحله پوشش b: مرحله منقوش شدن c: مرحله دفع d: مرحله جذب ۲۰
- شکل (۵-۱) - روشهای شکست سلولی ۲۳
- شکل (۶-۱) - glass bead ها با ابعاد مختلف ۲۵
- شکل (۷-۱) - تصویر SEM از محیط سلولی *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* بعد از شکست توسط bead mill ۲۵
- شکل (۸-۱) - تصویری از شیر هموژنایزر ۲۶
- شکل (۹-۱) - تصویر SEM از محیط سلولی شکسته شده *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*، شکل a محیط قبل از شکست، شکل b-d بعد از شکست با عبور به ترتیب یک، دو و سه بار از هموژنایزر با فشار 135Mpa ۲۶

فصل دوم

- شکل (۱-۲) - طراحی 3^3 full factorial (27 نقطه) ۳۶
- شکل (۲-۲) - طراحی 3^3 با کسر 1/3 ۳۷
- شکل (۳-۲) - طراحی CCD برای 3 فاکتور در دو سطح ۳۸

فصل سوم

- شکل (۱-۳) - شماتیکی از برخورد سلولها با دانه‌های شیشه ۴۸
- شکل (۲-۳) - تصویری از دستگاه mill KDL ۴۸
- شکل (۳-۳) - سمت راست سلولهای سالم مخمر و سمت چپ سلولهای شکسته شده، مشاهده شد با میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی های متفاوت را نشان می دهد ۵۰
- شکل (۴-۳) - تصویری از سانتریفیوژ ۵۰
- شکل (۵-۳) - کالیبراسیون دستگاه جذب اتمی ۵۲
- شکل (۶-۳) - دستگاه جذب اتمی شعله ۵۳

فصل چهارم

- شکل (۱-۴) - مقادیر ظرفیت جذب به دست آمده از روش تجربی و پیشگویی شده توسط مدل رگرسیون
 ۶۲
- شکل (۲-۴) - نمودار احتمال نرمال
 ۶۳
- شکل (۳-۴) - نمودار Histogram
 ۶۳
- شکل (۴-۴) - نمودار پاسخ سطحی PH و دمای خشک شدن جاذب (قبل از اصلاح)
 ۶۶
- شکل (۵-۴) - نمودار counter plot تاثیر PH و دمای خشک شدن جاذب (T) (قبل از اصلاح)
 ۶۶
- شکل (۶-۴) - نمودار پاسخ سطحی تاثیر غلظت اولیه (C_0) و دوز جاذب (قبل از اصلاح)
 ۶۷
- شکل (۷-۴) - نمودار counter plot تاثیر غلظت اولیه (C_0) و دوز جاذب (قبل از اصلاح)
 ۶۷
- شکل (۸-۴) - نمودار پاسخ سطحی تاثیر دوز جاذب و زمان (قبل از اصلاح)
 ۶۸
- شکل (۹-۴) - نمودار counter plot تاثیر دوز جاذب و زمان (قبل از اصلاح)
 ۶۸
- شکل (۱۰-۴) - نمودار پاسخ سطحی تاثیر غلظت اولیه یون $Cu(II)$ و دمای خشک شدن جاذب (قبل از اصلاح)
 ۶۹
- شکل (۱۱-۴) - نمودار counter plot تاثیر غلظت اولیه یون $Cu(II)$ و دمای خشک شدن جاذب (قبل از اصلاح)
 ۶۹
- شکل (۱۲-۴) - نمودار پاسخ سطحی تاثیر غلظت اولیه یون $Cu(II)$ و PH (قبل از اصلاح)
 ۷۰
- شکل (۱۳-۴) - نمودار counter plot تاثیر غلظت اولیه یون $Cu(II)$ و PH (قبل از اصلاح)
 ۷۰
- شکل (۱۴-۴) - نمودار پاسخ سطحی تاثیر غلظت اولیه یون $Cu(II)$ و time (قبل از اصلاح)
 ۷۱
- شکل (۱۵-۴) - نمودار counter plot تاثیر غلظت اولیه یون $Cu(II)$ و time (قبل از اصلاح)
 ۷۱
- شکل (۱۶-۴) - نمودار پاسخ سطحی تاثیر دمای خشک شدن جاذب (T) و دوز جاذب (BSD) (قبل از اصلاح)
 ۷۲
- شکل (۱۷-۴) - نمودار counter plot تاثیر دمای خشک شدن جاذب (T) و دوز جاذب (BSD) (قبل از اصلاح)
 ۷۲
- شکل (۱۸-۴) - نمودار پاسخ سطحی تاثیر دمای خشک شدن جاذب (T) و زمان (قبل از اصلاح)
 ۷۳
- شکل (۱۹-۴) - نمودار counter plot تاثیر دمای خشک شدن جاذب (T) و زمان (قبل از اصلاح)
 ۷۳
- شکل (۲۰-۴) - نمودار پاسخ سطحی PH و BSD (قبل از اصلاح)
 ۷۴
- شکل (۲۱-۴) - نمودار counter plot تاثیر PH و BSD (قبل از اصلاح)
 ۷۴
- شکل (۲۲-۴) - نمودار پاسخ سطحی PH و time (قبل از اصلاح)
 ۷۵
- شکل (۲۳-۴) - نمودار counter plot تاثیر PH و time (قبل از اصلاح)
 ۷۵
- شکل (۲۴-۴) - مقادیر آزمایشی و پیشگویی شده توسط مدل رگرسیون برای جاذب اصلاح شده
 ۸۱
- شکل (۲۵-۴) - نمودار احتمال نرمال (بعد از اصلاح)
 ۸۱

- شکل (۴-۲۶) - نمودار Histogram (بعد از اصلاح) ۸۱
- شکل (۴-۲۷) - نمودار پاسخ سطحی PH و دمای خشک شدن جاذب (T) (بعد از اصلاح) ۸۴
- شکل (۴-۲۸) - نمودار counter plot تاثیر PH و دمای خشک شدن جاذب (T) (بعد از اصلاح) ۸۴
- شکل (۴-۲۹) - نمودار پاسخ سطحی تاثیر غلظت اولیه یون Cu(II) و دوز جاذب (بعد از اصلاح) ۸۵
- شکل (۴-۳۰) - نمودار counter plot تاثیر غلظت اولیه (C₀) و دوز جاذب (بعد از اصلاح) ۸۵
- شکل (۴-۳۱) - نمودار پاسخ سطحی تاثیر دوز جاذب و زمان (بعد از اصلاح) ۸۶
- شکل (۴-۳۲) - نمودار counter plot تاثیر دوز جاذب و زمان (بعد از اصلاح) ۸۶
- شکل (۴-۳۳) - نمودار پاسخ سطحی تاثیر غلظت اولیه یون Cu(II) و دمای خشک شدن جاذب (بعد از اصلاح) ۸۷
- شکل (۴-۳۴) - نمودار counter plot تاثیر غلظت اولیه یون Cu(II) و دمای خشک شدن جاذب (بعد از اصلاح) ۸۷
- شکل (۴-۳۵) - نمودار پاسخ سطحی تاثیر غلظت اولیه یون PH و Cu(II) (بعد از اصلاح) ۸۸
- شکل (۴-۳۶) - نمودار counter plot تاثیر غلظت اولیه یون PH و Cu(II) (بعد از اصلاح) ۸۸
- شکل (۴-۳۷) - نمودار پاسخ سطحی تاثیر دمای خشک شدن جاذب (T) و دوز جاذب (BSD) (بعد از اصلاح) ۸۹
- شکل (۴-۳۸) - نمودار counter plot تاثیر دمای خشک شدن جاذب (T) و دوز جاذب (BSD) (بعد از اصلاح) ۸۹
- شکل (۴-۳۹) - نمودار پاسخ سطحی تاثیر دمای خشک شدن جاذب (T) و زمان (بعد از اصلاح) ۹۰
- شکل (۴-۴۰) - نمودار counter plot تاثیر دمای خشک شدن جاذب (T) و زمان (بعد از اصلاح) ۹۰
- شکل (۴-۴۱) - مقایسه ظرفیت جذب تجربی و ظرفیت جذب به دست آمده از ایزوترمها ۹۴
- شکل (۴-۴۲) - پوشش سطح جاذب بر حسب غلظت اولیه فلز ۹۴
- شکل (۴-۴۳) - سینتیک جذب Cu(II) بر روی جاذب اصلاح شده *S.cerevisiae* در غلظت های مختلف، (a) درجه اول، (b) درجه دوم، (c) نفوذ درون ذره ای ۹۷
- شکل (۴-۴۴) - طیف FTIR بیومس *S.cerevisiae*، قبل از شکست سلولی و قبل از جذب یون فلزی ۱۰۱
- شکل (۴-۴۵) - طیف FTIR بیومس *S.cerevisiae*، بعد از شکست سلولی و قبل از جذب یون فلزی ۱۰۱
- شکل (۴-۴۶) - طیف FTIR مربوط به بیومس، به ترتیب؛ (a) بیومس اولیه، (b) بیومس بعد از اصلاح (شکست سلولی) و قبل از جذب یون مس، (c) بیومس بعد از اصلاح (شکست سلولی) و بعد از جذب مس ۱۰۴
- شکل (۴-۴۷) - تصویر SEM از سلولهای بیومس *S.cerevisiae*، به ترتیب؛ (a) قبل از اصلاح (شکست سلولی) و قبل از جذب یون، (b) بعد از اصلاح (شکست سلولی) و قبل از جذب یون، (c) بعد از اصلاح (شکست سلولی) و بعد از جذب یون ۱۰۵

فصل اول

۴	جدول (۱-۱) - نمونه ای از پسابهای تولید شده خطرناک توسط صنایع
۹	جدول (۲-۱) - گروههای عاملی (لیگاندها) مختلف موجود در ترکیبات ارگانیکی
۱۰	جدول (۳-۱) - لیگاندهای موجود در سیستم های بیولوژیکی و سه گروه مختلف فلزی
۱۱	جدول (۴-۱) - مقایسه بین جذب بیولوژیکی و تجمع بیولوژیکی
۱۵	جدول (۵-۱) - جذب توسط <i>Saccharomyces.cerevisiae</i> (mg/g)
۱۷	جدول (۶-۱) - مقایسه ظرفیت جذب بیومس های مختلف با <i>s.cerevisiae</i>
۲۲	جدول (۷-۱) - انواع ماتریکسهای تثبیت سازی برای بیومس های مختلف

فصل دوم

۴۰	جدول (۱-۲) - سطوح و فاکتورهای مورد مطالعه برای یون مس (Cu(II))
۴۱	جدول (۲-۲) - آزمایشات طراحی شده پنج فاکتوری توسط Minitab به روش CCF ، برای هر دو حالت جاذب اولیه و جاذب بعد از اصلاح

فصل سوم

۴۴	جدول (۱-۳) - مواد متشکله محیط کشت
----	-----------------------------------

فصل چهارم

۶۰	جدول (۱-۴) - مقادیر ضریب رگرسیون و احتمالات مربوطه به دست آمده از تحلیل Minitab، مربوط به بیومس قبل از اصلاح (شکست سلولی)
۶۱	جدول (۲-۴) - ANOVA برای مدل پاسخ سطحی درجه دوم، جذب Cu(II) روی بیومس قبل از اصلاح (شکست سلولی)
۶۵	جدول (۳-۴) - نقاط بهینه پارامترهای عملیاتی به دست آمده از معادله رگرسیون، برای جاذب اولیه
۷۶	جدول (۴-۴) - آزمایشات طراحی شده توسط Minitab به روش CCF ، برای بیومس قبل از اصلاح (شکست سلولی)، همراه با پنج فاکتور به همراه مقادیر ظرفیت جذب به دست آمده q(mg/g) از آزمایشات تجربی و به دست آمده از مدل رگرسیون
۷۹	جدول (۵-۴) - مقادیر ضریب رگرسیون و احتمالات مربوطه به دست آمده از تحلیل Minitab، مربوط به

- بیومس بعد از اصلاح (شکست سلولی)
- ۸۰ جدول (۶-۴) - ANOVA برای مدل پاسخ سطحی درجه دوم، جذب Cu(II) روی بیومس اصلاح شده (سلولهای شکسته شده)
- ۸۳ جدول (۷-۴) - نقاط بهینه پارامترهای عملیاتی به دست آمده از معادله رگرسیون، برای جذب اصلاح شده
- ۹۱ جدول (۸-۴) - آزمایشات طراحی شده توسط Minitab به روش CCF، برای جذب Cu(II) بر روی بیومس بعد از اصلاح (شکست سلولی)، همراه با پنج فاکتور به همراه مقادیر به دست آمده $q(\text{mg/g})$ از آزمایشات تجربی و به دست آمده از مدل رگرسیون
- ۹۲ جدول (۹-۴) - ثوابت مدل‌های ایزوترمی برای جذب Cu(II)
- ۹۳ جدول (۱۰-۴) - مقادیر غلظت تعادلی و ظرفیت جذب تعادلی برای غلظتهای مختلف Cu(II)
- ۹۶ جدول (۱۱-۴) - پارامترهای به دست آمده از سینتیک های درجه اول و دوم حاصل از جذب Cu(II) بر روی جذب اصلاح شده در غلظت های مختلف
- ۱۰۲ جدول (۱۲-۴) - مشخصات طیف FTIR به دست آمده از بیومس *S.cerevisiae* قبل و بعد از اصلاح (شکست سلولی)
- ۱۰۳ جدول (۱۳-۴) - مقایسه طیف FTIR به دست آمده از بیومس اصلاح شده *S.cerevisiae* قبل و بعد از تماس با یون مس

فصل اول

مقدمه ای بر روش‌های متداول حذف و سیستم‌های جذب
بیولوژیکی

۱-۱- مقدمه:

با رشد سریع صنایع مختلف شامل معدنی، ذوب فلزات، نازک کاری سطوح، نفت و پتروشیمی، تولید انرژی و سوخت، تولید آفت کش ها و کودهای شیمیایی، فلزکاری، استیل و آهن، آبکاری، دباغی، الکترونیک، عکاسی، تولید تجهیزات الکتریکی، تاسیسات انرژی اتمی و فضایی به خصوص در کشورهای پیشرفته، پسابهای حاوی فلزات سنگین را به طور مستقیم و یا غیر مستقیم به محیط زیست تخلیه می کنند [14,16,30,33,45,64].

آلودگی آب های سطحی هرچند به صورت جزئی مسئله بسیار مهمی است. اگرچه روان آب های ناشی از بارش های دائمی ممکن است که اثرات آلودگی آب ها را کم کند. از آنجا که هیچ سیستم تصفیه فاضلابی وجود ندارد، کارخانه های بزرگ و کوچک فاضلاب های خود را بدون هیچ عمل تصفیه ای به جریان های آب سطحی، مرداب ها، آبگذرهای باز و دیگر جریان ها تخلیه می کنند. این امر موجب بالا رفتن غلظت های فلزاتی مانند سرب، کادمیم و مس در محیط شده است. از آنجا که منابع آب های طبیعی محدود می باشد، می بایست قبل از تاسیس هر کارخانه ای ابتدا به فرآیند تصفیه فاضلاب آن توجه کرد [38].

فلزات سنگین عناصری هستند که چگالی آنها معمولاً بیشتر از آب است. عناصری با پایداری بالا (غیرقابل تجزیه در بدن) و دارای توانایی تجمع در زنجیره غذایی و قابلیت انتقال به انسان را دارند. بلع، استنشاق و جذب بر روی پوست از راه های معمول ورود فلزات سنگین به بدن می باشند. بررسی آلودگی حاصل از این فلزات و تاثیر آن بر انسان از پنجاه سال پیش شروع شده است که حاصل استفاده این مواد در محصولات و فرآیندهای صنعتی می باشد [4,64].

فلزاتی که به منظور جذب بیولوژیکی مورد توجه قرار می گیرند شامل سه دسته زیر هستند:

فلزات سمی مانند Hg, Cr, Pb, Zn, Cu, Ni, Cd, As, Co, Sn و غیره

فلزات باارزش مانند Pd, Pt, Ag, Au, Ru و غیره

رادیونوکلئیدها مانند U, Th, Ra, Am و غیره

که وزن مولکولی ویژه آنها معمولاً بیشتر از 5 g/cm^3 است [30].

جذب بیش از حد فلز سنگین Cu(II) در داخل بدن انسان می‌تواند موجب تحریک غشاء مخاطی و خوردگی آن، آسیب‌های گسترده مویرگی، آسیب‌های کبدی و کلیه‌ای، تحریک سیستم عصبی مرکزی و به دنبال آن افسردگی، تحریکات معده‌ای و روده‌ای و غیره شود [45,64]. گزارش شده است که به طور طبیعی چه در آبهای سطحی و چه در آبهای زیر زمینی، گاهی اوقات غلظت فلزات سنگین 100 یا 1000 برابر بیشتر از بالاترین سطح آلودگی مجاز می‌باشد [48].

سمیت فلزات سنگین می‌تواند در طولانی مدت در طبیعت باقی بماند. بعضی از گونه‌های فلزات سنگین می‌توانند در محیط ثابت از حالت سمیت پایین به گونه‌های با سمیت بالاتر تبدیل شوند مانند جیوه و کروم. تجمع فلزات سنگین در زنجیره غذایی می‌تواند فعالیت طبیعی فیزیولوژیکی بدن را آسیب زده و در نهایت زندگی بشر را با خطر مواجه سازد. فلزات سنگین فقط می‌توانند در ظرفیت و نوع گونه تغییر یابند و قادر به تجزیه شدن، حتی با روش‌های بیولوژیکی، نیستند. سمیت فلزات سنگین حتی در غلظت‌های پایین در محدوده 1-10 mg/l اتفاق می‌افتد. بعضی از فلزات سمی مانند Hg, Cd حتی در غلظت‌های پایین‌تر در محدوده 0.001-0.1 mg/l نیز سمی هستند [30].

جدول (۱-۱) نمونه‌ای پسابهای حاوی فلزات سنگین تولید شده توسط صنایع و کارخانه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

تکنیک‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی وجود دارد که این روشها را میتوان به دو دسته کلی روش‌های فیزیکوشیمیایی (استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی) و روش‌های بیولوژیکی (استفاده از میکروارگانیسم‌ها) تقسیم کرد. اگر در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی از روش‌های تصفیه غیر مناسب استفاده شود، نه تنها فاضلاب تصفیه شده از کیفیت مطلوبی برخوردار نخواهد بود بلکه هزینه‌های مورد نیاز به میزان وسیعی افزایش خواهد یافت.