

جذب بیولوژیکی $Cr(VI)$ توسط توده سلولی مرده *Aspergillus niger*

رضا مرندي^۱

آیدا حجتی^۲ (مسئول مکاتبات)

عباس اخوان سپهیی^۳

تاریخ دریافت: ۸۶/۴/۲۰

تاریخ پذیرش: ۸۶/۱۱/۲۳

$Cr(VI)$ از جمله یون های فلزی است که آلودگی وسیعی را در محیط زیست ایجاد می کند. برای کاهش آلاینده های فلزات سنگین می توان از میکروارگانیسم ها استفاده کرد. در این بررسی برای جداسازی $Cr(VI)$ از توده سلولی اسپرژیلوس نایجر استفاده شده است. برای بالا رفتن بازده کار، توده سلولی زنده در $NaOH$ ۰/۵ N جوشانده می شود و پس از رساندن pH آن به حد نرمال مورد استفاده قرار می گیرد. تغییرات pH از جمله عوامل اساسی در جذب $Cr(VI)$ می باشد. بهترین جذب در $pH=2$ صورت می گیرد. در این تحقیق اثرات تغییرات دما، غلظت، زمان، دور شیکرومیزان جاذب بررسی شده است و نتایج به دست آمده نشان می دهد که این مقادیر از مدل های فرندلیش و لانگمور پیروی می کنند در ضمن نمودارهای مربوط به هر دو مدل رسم شده، در مدل لانگمور $0/9544$ $R^2=$ و در مدل فرندلیش $0/992$ $R^2=$ می باشد. مشاهدات نشان می دهد با افزایش دما مقدار جذب افزایش می یابد و این دو با هم رابطه مستقیم دارند. مقدار درصد حذف $Cr(VI)$ از محلول بعد از ۲۴ ساعت $74/6\%$ می باشد. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که جوشاندن میسلیم های قارچ اسپرژیلوس نایجر در $NaOH$ اثر بهتری بر جذب یون های $Cr(VI)$ گذاشته و جذب را تا چندین برابر افزایش می دهد. مقدار سمیت $Cr(VI)$ با تبدیل به $Cr(III)$ نیز کاهش می یابد و مقداری از آن نیز از طریق جذب سطحی حذف می شود.

واژه های کلیدی: جذب بیولوژیکی، اسپرژیلوس نایجر، لانگمور، فرندلیش $Cr(VI)$ ، فلزات سنگین.

۱- استادیار، دانشکده فنی مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال
۲- کارشناس ارشد، دانشکده شیمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال
۳- استادیار گروه میکروبیولوژی، دانشکده علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

مقدمه

کروم از جمله عناصری است که از اهمیت اقتصادی زیادی در صنایع برخوردار است و در عین حال آلودگی زیادی را در محیط زیست ایجاد می کند (۱). کروم حالت های اکسایش مختلفی از ۲- تا ۶+ را داراست ولی فقط حالت های اکسایش ۳+ و ۶+ در محیط مائی وجود دارند (۲). کروم در پساب های حاوی رنگدانه ها، پیگمان ها، در پساب چرم سازی و صنایع آبکاری (۳) یافت می شود. Cr(VI) سمی ترین حالت در کل حالت-های اکسایش کروم می باشد برای کاهش این سمیت و جداسازی Cr(VI) از پساب ها روش های متفاوتی استفاده شده است، به عنوان مثال رزین های تعویض یونی، فیلتراسیون و روش های تصفیه شیمیایی از جمله این روش ها می باشد، اما این روش ها دارای معایبی نیز است. مقدار انرژی مصرفی بالا و تولید لجن از جمله این معایب هستند (۳ و ۴). استفاده از جذب سطحی توسط میکروارگانیسم ها از جمله روش هایی است که مزایای زیادی را دارد، برای این منظور میکروارگانیسم هایی نظیر قارچ ها، باکتری ها و جلبک ها مورد استفاده قرار می گیرند (۴). و در بیشتر موارد توده سلولی مرده بهتر از توده سلولی زنده در جداسازی فلزات سنگین عمل می کند (۵). از جمله مزایای این روش می توان نیاز نداشتن به محیط کشت در هنگام عمل جذب، بازجذب فلز، استفاده مجدد از توده سلولی و در بر داشتن هزینه کم این روش را نام برد (۶).

جذب سطحی فلزات سنگین توسط قارچ ها از جمله موارد پیشنهادی برای جداسازی فلزات سنگین می باشد (۷). از جمله قارچ هایی که برای جداسازی فلزات سنگین استفاده می شود می توان *Rhizopus* و *penicillium* را نام برد (۸). در این آزمایش ها از توده قارچی *Aspergillus niger* استفاده شده است. این قارچ در تولید سیتریک اسید و آنزیم هایی نظیر آمیلاز، گلوکزایزومراز و لیپاز استفاده می شود (۱)

مطالعات اخیر نشان می دهد که در طی جداسازی Cr(VI) توسط مکانیسم جذب سطحی، گروه های کرومات با بار منفی با بارهای مثبت نظیر گروه های آمینه سطح سلول پیوند برقرار می کند و توده سلولی مرده آسپرژیلوس نایجرباعث

کاهش Cr(VI) به Cr(III) می شود. این کاهش بستگی به عوامل متفاوتی نظیر pH، زمان تماس، غلظت فلز و غلظت توده سلولی دارد (۷ و ۸).

مواد و روش ها

۱- آماده سازی توده سلولی

قارچ مورد استفاده در این آزمایش ها آسپرژیلوس نایجر می باشد. به منظور کشت آسپرژیلوس نایجر از محیط کشت مایع PDA استفاده شده است. بدین منظور ابتدا در ارلن های ۵۰۰ ml و ۱۰۰۰ ml محیط کشت به مقدار معینی ریخته شده و pH محیط بر روی ۵ تثبیت می گردد. سپس اسپورها به محیط کشت منتقل می شوند و محیط به مدت ۵ روز بر روی شیکر با دور ۱۵۰ rpm و دما 22 ± 2 قرار می گیرد. پس از ۵ شبانه روز توده قارچی توسط صافی $150 \mu\text{m}$ صاف شده و به کمک آب مقطر شسته می شود. توده سلولی تهیه شده را بیومس زنده می گویند. به منظور کشتن توده سلولی آن را توسط 0.5N NaOH به مدت ۱۵ دقیقه می جوشانند، سپس توده سلولی مرده را صاف کرده و به دفعات با آب مقطر شستشو می دهند تا pH محیط به حد نرمال برسد. در مرحله بعد توده سلولی را به 60°C منتقل کرده آن را به مدت ۱۲ ساعت خشک می کنند. سپس توده سلولی خشک شده را به حالت پودری شکل در آورده و انبار می کنند.

۲- جداسازی Cr(VI)

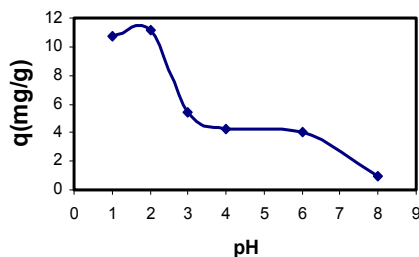
جداسازی Cr(VI) توسط توده سلولی مرده آسپرژیلوس نایجر در یک سیستم ناپیوسته (batch) صورت می گیرد. کلیه آزمایش ها توسط نمک K_2CrO_4 که غلظت ۱۰۰۰ ppm از آن تهیه شده است انجام می گیرد. برای انجام آزمایش ها محلول های با غلظت 3.0 mg/l و حجم 100 cc تهیه شده و دور شیکر 1500 rpm دما 30°C ، و مقدار توده سلولی 0.2 gr می باشد. برای تعیین pH بهینه، ۲، ۳، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴، ۲۶، ۲۸، ۳۰، ۳۲، ۳۴، ۳۶، ۳۸، ۴۰، ۴۲، ۴۴، ۴۶، ۴۸، ۵۰، ۵۲، ۵۴، ۵۶، ۵۸، ۶۰، ۶۲، ۶۴، ۶۶، ۶۸، ۷۰، ۷۲، ۷۴، ۷۶، ۷۸، ۸۰، ۸۲، ۸۴، ۸۶، ۸۸، ۹۰، ۹۲، ۹۴، ۹۶، ۹۸، ۱۰۰، ۱۰۲، ۱۰۴، ۱۰۶، ۱۰۸، ۱۱۰، ۱۱۲، ۱۱۴، ۱۱۶، ۱۱۸، ۱۲۰، ۱۲۲، ۱۲۴، ۱۲۶، ۱۲۸، ۱۳۰، ۱۳۲، ۱۳۴، ۱۳۶، ۱۳۸، ۱۴۰، ۱۴۲، ۱۴۴، ۱۴۶، ۱۴۸، ۱۵۰، ۱۵۲، ۱۵۴، ۱۵۶، ۱۵۸، ۱۶۰، ۱۶۲، ۱۶۴، ۱۶۶، ۱۶۸، ۱۷۰، ۱۷۲، ۱۷۴، ۱۷۶، ۱۷۸، ۱۸۰، ۱۸۲، ۱۸۴، ۱۸۶، ۱۸۸، ۱۹۰، ۱۹۲، ۱۹۴، ۱۹۶، ۱۹۸، ۲۰۰، ۲۰۲، ۲۰۴، ۲۰۶، ۲۰۸، ۲۱۰، ۲۱۲، ۲۱۴، ۲۱۶، ۲۱۸، ۲۲۰، ۲۲۲، ۲۲۴، ۲۲۶، ۲۲۸، ۲۳۰، ۲۳۲، ۲۳۴، ۲۳۶، ۲۳۸، ۲۴۰، ۲۴۲، ۲۴۴، ۲۴۶، ۲۴۸، ۲۵۰، ۲۵۲، ۲۵۴، ۲۵۶، ۲۵۸، ۲۶۰، ۲۶۲، ۲۶۴، ۲۶۶، ۲۶۸، ۲۷۰، ۲۷۲، ۲۷۴، ۲۷۶، ۲۷۸، ۲۸۰، ۲۸۲، ۲۸۴، ۲۸۶، ۲۸۸، ۲۹۰، ۲۹۲، ۲۹۴، ۲۹۶، ۲۹۸، ۳۰۰، ۳۰۲، ۳۰۴، ۳۰۶، ۳۰۸، ۳۱۰، ۳۱۲، ۳۱۴، ۳۱۶، ۳۱۸، ۳۲۰، ۳۲۲، ۳۲۴، ۳۲۶، ۳۲۸، ۳۳۰، ۳۳۲، ۳۳۴، ۳۳۶، ۳۳۸، ۳۴۰، ۳۴۲، ۳۴۴، ۳۴۶، ۳۴۸، ۳۵۰، ۳۵۲، ۳۵۴، ۳۵۶، ۳۵۸، ۳۶۰، ۳۶۲، ۳۶۴، ۳۶۶، ۳۶۸، ۳۷۰، ۳۷۲، ۳۷۴، ۳۷۶، ۳۷۸، ۳۸۰، ۳۸۲، ۳۸۴، ۳۸۶، ۳۸۸، ۳۹۰، ۳۹۲، ۳۹۴، ۳۹۶، ۳۹۸، ۴۰۰، ۴۰۲، ۴۰۴، ۴۰۶، ۴۰۸، ۴۱۰، ۴۱۲، ۴۱۴، ۴۱۶، ۴۱۸، ۴۲۰، ۴۲۲، ۴۲۴، ۴۲۶، ۴۲۸، ۴۳۰، ۴۳۲، ۴۳۴، ۴۳۶، ۴۳۸، ۴۴۰، ۴۴۲، ۴۴۴، ۴۴۶، ۴۴۸، ۴۵۰، ۴۵۲، ۴۵۴، ۴۵۶، ۴۵۸، ۴۶۰، ۴۶۲، ۴۶۴، ۴۶۶، ۴۶۸، ۴۷۰، ۴۷۲، ۴۷۴، ۴۷۶، ۴۷۸، ۴۸۰، ۴۸۲، ۴۸۴، ۴۸۶، ۴۸۸، ۴۹۰، ۴۹۲، ۴۹۴، ۴۹۶، ۴۹۸، ۵۰۰، ۵۰۲، ۵۰۴، ۵۰۶، ۵۰۸، ۵۱۰، ۵۱۲، ۵۱۴، ۵۱۶، ۵۱۸، ۵۲۰، ۵۲۲، ۵۲۴، ۵۲۶، ۵۲۸، ۵۳۰، ۵۳۲، ۵۳۴، ۵۳۶، ۵۳۸، ۵۴۰، ۵۴۲، ۵۴۴، ۵۴۶، ۵۴۸، ۵۵۰، ۵۵۲، ۵۵۴، ۵۵۶، ۵۵۸، ۵۶۰، ۵۶۲، ۵۶۴، ۵۶۶، ۵۶۸، ۵۷۰، ۵۷۲، ۵۷۴، ۵۷۶، ۵۷۸، ۵۸۰، ۵۸۲، ۵۸۴، ۵۸۶، ۵۸۸، ۵۹۰، ۵۹۲، ۵۹۴، ۵۹۶، ۵۹۸، ۶۰۰، ۶۰۲، ۶۰۴، ۶۰۶، ۶۰۸، ۶۱۰، ۶۱۲، ۶۱۴، ۶۱۶، ۶۱۸، ۶۲۰، ۶۲۲، ۶۲۴، ۶۲۶، ۶۲۸، ۶۳۰، ۶۳۲، ۶۳۴، ۶۳۶، ۶۳۸، ۶۴۰، ۶۴۲، ۶۴۴، ۶۴۶، ۶۴۸، ۶۵۰، ۶۵۲، ۶۵۴، ۶۵۶، ۶۵۸، ۶۶۰، ۶۶۲، ۶۶۴، ۶۶۶، ۶۶۸، ۶۷۰، ۶۷۲، ۶۷۴، ۶۷۶، ۶۷۸، ۶۸۰، ۶۸۲، ۶۸۴، ۶۸۶، ۶۸۸، ۶۹۰، ۶۹۲، ۶۹۴، ۶۹۶، ۶۹۸، ۷۰۰، ۷۰۲، ۷۰۴، ۷۰۶، ۷۰۸، ۷۱۰، ۷۱۲، ۷۱۴، ۷۱۶، ۷۱۸، ۷۲۰، ۷۲۲، ۷۲۴، ۷۲۶، ۷۲۸، ۷۳۰، ۷۳۲، ۷۳۴، ۷۳۶، ۷۳۸، ۷۴۰، ۷۴۲، ۷۴۴، ۷۴۶، ۷۴۸، ۷۵۰، ۷۵۲، ۷۵۴، ۷۵۶، ۷۵۸، ۷۶۰، ۷۶۲، ۷۶۴، ۷۶۶، ۷۶۸، ۷۷۰، ۷۷۲، ۷۷۴، ۷۷۶، ۷۷۸، ۷۸۰، ۷۸۲، ۷۸۴، ۷۸۶، ۷۸۸، ۷۹۰، ۷۹۲، ۷۹۴، ۷۹۶، ۷۹۸، ۸۰۰، ۸۰۲، ۸۰۴، ۸۰۶، ۸۰۸، ۸۱۰، ۸۱۲، ۸۱۴، ۸۱۶، ۸۱۸، ۸۲۰، ۸۲۲، ۸۲۴، ۸۲۶، ۸۲۸، ۸۳۰، ۸۳۲، ۸۳۴، ۸۳۶، ۸۳۸، ۸۴۰، ۸۴۲، ۸۴۴، ۸۴۶، ۸۴۸، ۸۵۰، ۸۵۲، ۸۵۴، ۸۵۶، ۸۵۸، ۸۶۰، ۸۶۲، ۸۶۴، ۸۶۶، ۸۶۸، ۸۷۰، ۸۷۲، ۸۷۴، ۸۷۶، ۸۷۸، ۸۸۰، ۸۸۲، ۸۸۴، ۸۸۶، ۸۸۸، ۸۹۰، ۸۹۲، ۸۹۴، ۸۹۶، ۸۹۸، ۹۰۰، ۹۰۲، ۹۰۴، ۹۰۶، ۹۰۸، ۹۱۰، ۹۱۲، ۹۱۴، ۹۱۶، ۹۱۸، ۹۲۰، ۹۲۲، ۹۲۴، ۹۲۶، ۹۲۸، ۹۳۰، ۹۳۲، ۹۳۴، ۹۳۶، ۹۳۸، ۹۴۰، ۹۴۲، ۹۴۴، ۹۴۶، ۹۴۸، ۹۵۰، ۹۵۲، ۹۵۴، ۹۵۶، ۹۵۸، ۹۶۰، ۹۶۲، ۹۶۴، ۹۶۶، ۹۶۸، ۹۷۰، ۹۷۲، ۹۷۴، ۹۷۶، ۹۷۸، ۹۸۰، ۹۸۲، ۹۸۴، ۹۸۶، ۹۸۸، ۹۹۰، ۹۹۲، ۹۹۴، ۹۹۶، ۹۹۸، ۱۰۰۰، ۱۰۰۲، ۱۰۰۴، ۱۰۰۶، ۱۰۰۸، ۱۰۱۰، ۱۰۱۲، ۱۰۱۴، ۱۰۱۶، ۱۰۱۸، ۱۰۲۰، ۱۰۲۲، ۱۰۲۴، ۱۰۲۶، ۱۰۲۸، ۱۰۳۰، ۱۰۳۲، ۱۰۳۴، ۱۰۳۶، ۱۰۳۸، ۱۰۴۰، ۱۰۴۲، ۱۰۴۴، ۱۰۴۶، ۱۰۴۸، ۱۰۵۰، ۱۰۵۲، ۱۰۵۴، ۱۰۵۶، ۱۰۵۸، ۱۰۶۰، ۱۰۶۲، ۱۰۶۴، ۱۰۶۶، ۱۰۶۸، ۱۰۷۰، ۱۰۷۲، ۱۰۷۴، ۱۰۷۶، ۱۰۷۸، ۱۰۸۰، ۱۰۸۲، ۱۰۸۴، ۱۰۸۶، ۱۰۸۸، ۱۰۹۰، ۱۰۹۲، ۱۰۹۴، ۱۰۹۶، ۱۰۹۸، ۱۱۰۰، ۱۱۰۲، ۱۱۰۴، ۱۱۰۶، ۱۱۰۸، ۱۱۱۰، ۱۱۱۲، ۱۱۱۴، ۱۱۱۶، ۱۱۱۸، ۱۱۲۰، ۱۱۲۲، ۱۱۲۴، ۱۱۲۶، ۱۱۲۸، ۱۱۳۰، ۱۱۳۲، ۱۱۳۴، ۱۱۳۶، ۱۱۳۸، ۱۱۴۰، ۱۱۴۲، ۱۱۴۴، ۱۱۴۶، ۱۱۴۸، ۱۱۵۰، ۱۱۵۲، ۱۱۵۴، ۱۱۵۶، ۱۱۵۸، ۱۱۶۰، ۱۱۶۲، ۱۱۶۴، ۱۱۶۶، ۱۱۶۸، ۱۱۷۰، ۱۱۷۲، ۱۱۷۴، ۱۱۷۶، ۱۱۷۸، ۱۱۸۰، ۱۱۸۲، ۱۱۸۴، ۱۱۸۶، ۱۱۸۸، ۱۱۹۰، ۱۱۹۲، ۱۱۹۴، ۱۱۹۶، ۱۱۹۸، ۱۲۰۰، ۱۲۰۲، ۱۲۰۴، ۱۲۰۶، ۱۲۰۸، ۱۲۱۰، ۱۲۱۲، ۱۲۱۴، ۱۲۱۶، ۱۲۱۸، ۱۲۲۰، ۱۲۲۲، ۱۲۲۴، ۱۲۲۶، ۱۲۲۸، ۱۲۳۰، ۱۲۳۲، ۱۲۳۴، ۱۲۳۶، ۱۲۳۸، ۱۲۴۰، ۱۲۴۲، ۱۲۴۴، ۱۲۴۶، ۱۲۴۸، ۱۲۵۰، ۱۲۵۲، ۱۲۵۴، ۱۲۵۶، ۱۲۵۸، ۱۲۶۰، ۱۲۶۲، ۱۲۶۴، ۱۲۶۶، ۱۲۶۸، ۱۲۷۰، ۱۲۷۲، ۱۲۷۴، ۱۲۷۶، ۱۲۷۸، ۱۲۸۰، ۱۲۸۲، ۱۲۸۴، ۱۲۸۶، ۱۲۸۸، ۱۲۹۰، ۱۲۹۲، ۱۲۹۴، ۱۲۹۶، ۱۲۹۸، ۱۳۰۰، ۱۳۰۲، ۱۳۰۴، ۱۳۰۶، ۱۳۰۸، ۱۳۱۰، ۱۳۱۲، ۱۳۱۴، ۱۳۱۶، ۱۳۱۸، ۱۳۲۰، ۱۳۲۲، ۱۳۲۴، ۱۳۲۶، ۱۳۲۸، ۱۳۳۰، ۱۳۳۲، ۱۳۳۴، ۱۳۳۶، ۱۳۳۸، ۱۳۴۰، ۱۳۴۲، ۱۳۴۴، ۱۳۴۶، ۱۳۴۸، ۱۳۵۰، ۱۳۵۲، ۱۳۵۴، ۱۳۵۶، ۱۳۵۸، ۱۳۶۰، ۱۳۶۲، ۱۳۶۴، ۱۳۶۶، ۱۳۶۸، ۱۳۷۰، ۱۳۷۲، ۱۳۷۴، ۱۳۷۶، ۱۳۷۸، ۱۳۸۰، ۱۳۸۲، ۱۳۸۴، ۱۳۸۶، ۱۳۸۸، ۱۳۹۰، ۱۳۹۲، ۱۳۹۴، ۱۳۹۶، ۱۳۹۸، ۱۴۰۰، ۱۴۰۲، ۱۴۰۴، ۱۴۰۶، ۱۴۰۸، ۱۴۱۰، ۱۴۱۲، ۱۴۱۴، ۱۴۱۶، ۱۴۱۸، ۱۴۲۰، ۱۴۲۲، ۱۴۲۴، ۱۴۲۶، ۱۴۲۸، ۱۴۳۰، ۱۴۳۲، ۱۴۳۴، ۱۴۳۶، ۱۴۳۸، ۱۴۴۰، ۱۴۴۲، ۱۴۴۴، ۱۴۴۶، ۱۴۴۸، ۱۴۵۰، ۱۴۵۲، ۱۴۵۴، ۱۴۵۶، ۱۴۵۸، ۱۴۶۰، ۱۴۶۲، ۱۴۶۴، ۱۴۶۶، ۱۴۶۸، ۱۴۷۰، ۱۴۷۲، ۱۴۷۴، ۱۴۷۶، ۱۴۷۸، ۱۴۸۰، ۱۴۸۲، ۱۴۸۴، ۱۴۸۶، ۱۴۸۸، ۱۴۹۰، ۱۴۹۲، ۱۴۹۴، ۱۴۹۶، ۱۴۹۸، ۱۵۰۰، ۱۵۰۲، ۱۵۰۴، ۱۵۰۶، ۱۵۰۸، ۱۵۱۰، ۱۵۱۲، ۱۵۱۴، ۱۵۱۶، ۱۵۱۸، ۱۵۲۰، ۱۵۲۲، ۱۵۲۴، ۱۵۲۶، ۱۵۲۸، ۱۵۳۰، ۱۵۳۲، ۱۵۳۴، ۱۵۳۶، ۱۵۳۸، ۱۵۴۰، ۱۵۴۲، ۱۵۴۴، ۱۵۴۶، ۱۵۴۸، ۱۵۵۰، ۱۵۵۲، ۱۵۵۴، ۱۵۵۶، ۱۵۵۸، ۱۵۶۰، ۱۵۶۲، ۱۵۶۴، ۱۵۶۶، ۱۵۶۸، ۱۵۷۰، ۱۵۷۲، ۱۵۷۴، ۱۵۷۶، ۱۵۷۸، ۱۵۸۰، ۱۵۸۲، ۱۵۸۴، ۱۵۸۶، ۱۵۸۸، ۱۵۹۰، ۱۵۹۲، ۱۵۹۴، ۱۵۹۶، ۱۵۹۸، ۱۶۰۰، ۱۶۰۲، ۱۶۰۴، ۱۶۰۶، ۱۶۰۸، ۱۶۱۰، ۱۶۱۲، ۱۶۱۴، ۱۶۱۶، ۱۶۱۸، ۱۶۲۰، ۱۶۲۲، ۱۶۲۴، ۱۶۲۶، ۱۶۲۸، ۱۶۳۰، ۱۶۳۲، ۱۶۳۴، ۱۶۳۶، ۱۶۳۸، ۱۶۴۰، ۱۶۴۲، ۱۶۴۴، ۱۶۴۶، ۱۶۴۸، ۱۶۵۰، ۱۶۵۲، ۱۶۵۴، ۱۶۵۶، ۱۶۵۸، ۱۶۶۰، ۱۶۶۲، ۱۶۶۴، ۱۶۶۶، ۱۶۶۸، ۱۶۷۰، ۱۶۷۲، ۱۶۷۴، ۱۶۷۶، ۱۶۷۸، ۱۶۸۰، ۱۶۸۲، ۱۶۸۴، ۱۶۸۶، ۱۶۸۸، ۱۶۹۰، ۱۶۹۲، ۱۶۹۴، ۱۶۹۶، ۱۶۹۸، ۱۷۰۰، ۱۷۰۲، ۱۷۰۴، ۱۷۰۶، ۱۷۰۸، ۱۷۱۰، ۱۷۱۲، ۱۷۱۴، ۱۷۱۶، ۱۷۱۸، ۱۷۲۰، ۱۷۲۲، ۱۷۲۴، ۱۷۲۶، ۱۷۲۸، ۱۷۳۰، ۱۷۳۲، ۱۷۳۴، ۱۷۳۶، ۱۷۳۸، ۱۷۴۰، ۱۷۴۲، ۱۷۴۴، ۱۷۴۶، ۱۷۴۸، ۱۷۵۰، ۱۷۵۲، ۱۷۵۴، ۱۷۵۶، ۱۷۵۸، ۱۷۶۰، ۱۷۶۲، ۱۷۶۴، ۱۷۶۶، ۱۷۶۸، ۱۷۷۰، ۱۷۷۲، ۱۷۷۴، ۱۷۷۶، ۱۷۷۸، ۱۷۸۰، ۱۷۸۲، ۱۷۸۴، ۱۷۸۶، ۱۷۸۸، ۱۷۹۰، ۱۷۹۲، ۱۷۹۴، ۱۷۹۶، ۱۷۹۸، ۱۸۰۰، ۱۸۰۲، ۱۸۰۴، ۱۸۰۶، ۱۸۰۸، ۱۸۱۰، ۱۸۱۲، ۱۸۱۴، ۱۸۱۶، ۱۸۱۸، ۱۸۲۰، ۱۸۲۲، ۱۸۲۴، ۱۸۲۶، ۱۸۲۸، ۱۸۳۰، ۱۸۳۲، ۱۸۳۴، ۱۸۳۶، ۱۸۳۸، ۱۸۴۰، ۱۸۴۲، ۱۸۴۴، ۱۸۴۶، ۱۸۴۸، ۱۸۵۰، ۱۸۵۲، ۱۸۵۴، ۱۸۵۶، ۱۸۵۸، ۱۸۶۰، ۱۸۶۲، ۱۸۶۴، ۱۸۶۶، ۱۸۶۸، ۱۸۷۰، ۱۸۷۲، ۱۸۷۴، ۱۸۷۶، ۱۸۷۸، ۱۸۸۰، ۱۸۸۲، ۱۸۸۴، ۱۸۸۶، ۱۸۸۸، ۱۸۹۰، ۱۸۹۲، ۱۸۹۴، ۱۸۹۶، ۱۸۹۸، ۱۹۰۰، ۱۹۰۲، ۱۹۰۴، ۱۹۰۶، ۱۹۰۸، ۱۹۱۰، ۱۹۱۲، ۱۹۱۴، ۱۹۱۶، ۱۹۱۸، ۱۹۲۰، ۱۹۲۲، ۱۹۲۴، ۱۹۲۶، ۱۹۲۸، ۱۹۳۰، ۱۹۳۲، ۱۹۳۴، ۱۹۳۶، ۱۹۳۸، ۱۹۴۰، ۱۹۴۲، ۱۹۴۴، ۱۹۴۶، ۱۹۴۸، ۱۹۵۰، ۱۹۵۲، ۱۹۵۴، ۱۹۵۶، ۱۹۵۸، ۱۹۶۰، ۱۹۶۲، ۱۹۶۴، ۱۹۶۶، ۱۹۶۸، ۱۹۷۰، ۱۹۷۲، ۱۹۷۴، ۱۹۷۶، ۱۹۷۸، ۱۹۸۰، ۱۹۸۲، ۱۹۸۴، ۱۹۸۶، ۱۹۸۸، ۱۹۹۰، ۱۹۹۲، ۱۹۹۴، ۱۹۹۶، ۱۹۹۸، ۲۰۰۰، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴، ۲۰۰۶، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰، ۲۰۱۲، ۲۰۱۴، ۲۰۱۶، ۲۰۱۸، ۲۰۲۰، ۲۰۲۲، ۲۰۲۴، ۲۰۲۶، ۲۰۲۸، ۲۰۳۰، ۲۰۳۲، ۲۰۳۴، ۲۰۳۶، ۲۰۳۸، ۲۰۴۰، ۲۰۴۲، ۲۰۴۴، ۲۰۴۶، ۲۰۴۸، ۲۰۵۰، ۲۰۵۲، ۲۰۵۴، ۲۰۵۶، ۲۰۵۸، ۲۰۶۰، ۲۰۶۲، ۲۰۶۴، ۲۰۶۶، ۲۰۶۸، ۲۰۷۰، ۲۰۷۲، ۲۰۷۴، ۲۰۷۶، ۲۰۷۸، ۲۰۸۰، ۲۰۸۲، ۲۰۸۴، ۲۰۸۶، ۲۰۸۸، ۲۰۹۰، ۲۰۹۲، ۲۰۹۴، ۲۰۹۶، ۲۰۹۸، ۲۱۰۰، ۲۱۰۲، ۲۱۰۴، ۲۱۰۶، ۲۱۰۸، ۲۱۱۰، ۲۱۱۲، ۲۱۱۴، ۲۱۱۶، ۲۱۱۸، ۲۱۲۰، ۲۱۲۲، ۲۱۲۴، ۲۱۲۶، ۲۱۲۸، ۲۱۳۰، ۲۱۳۲، ۲۱۳۴، ۲۱۳۶، ۲۱۳۸، ۲۱۴۰، ۲۱۴۲، ۲۱۴۴، ۲۱۴۶، ۲۱۴۸، ۲۱۵۰، ۲۱۵۲، ۲۱۵۴، ۲۱۵۶، ۲۱۵۸، ۲۱۶۰، ۲۱۶۲، ۲۱۶۴، ۲۱۶۶، ۲۱۶۸، ۲۱۷۰، ۲۱۷۲، ۲۱۷۴، ۲۱۷۶، ۲۱۷۸، ۲۱۸۰، ۲۱۸۲، ۲۱۸۴، ۲۱۸۶، ۲۱۸۸، ۲۱۹۰، ۲۱۹۲، ۲۱۹۴، ۲۱۹۶، ۲۱۹۸، ۲۲۰۰، ۲۲۰۲، ۲۲۰۴، ۲۲۰۶، ۲۲۰۸، ۲۲۱۰، ۲۲۱۲، ۲۲۱۴، ۲۲۱۶، ۲۲۱۸، ۲۲۲۰، ۲۲۲۲، ۲۲۲۴، ۲۲۲۶، ۲۲۲۸، ۲۲۳۰، ۲۲۳۲، ۲۲۳۴، ۲۲۳۶، ۲۲۳۸، ۲۲۴۰، ۲۲۴۲، ۲۲۴۴، ۲۲۴۶، ۲۲۴۸، ۲۲۵۰، ۲۲۵۲، ۲۲۵۴، ۲۲۵۶، ۲۲۵۸، ۲۲۶۰، ۲۲۶۲، ۲۲۶۴، ۲۲۶۶، ۲۲۶۸، ۲۲۷۰، ۲۲۷۲، ۲۲۷۴، ۲۲۷۶، ۲۲۷۸، ۲۲۸۰، ۲۲۸۲، ۲۲۸۴، ۲۲۸۶، ۲۲۸۸، ۲۲۹۰، ۲۲۹۲، ۲۲۹۴، ۲۲۹۶، ۲۲۹۸، ۲۳۰۰، ۲۳۰۲، ۲۳۰۴، ۲۳۰۶، ۲۳۰۸، ۲۳۱۰، ۲۳۱۲، ۲۳۱۴، ۲۳۱۶، ۲۳۱۸، ۲۳۲۰، ۲۳۲۲، ۲۳۲۴، ۲۳۲۶، ۲۳۲۸، ۲۳۳۰، ۲۳۳۲، ۲۳۳۴، ۲۳۳۶، ۲۳۳۸، ۲۳۴۰، ۲۳۴۲، ۲۳۴۴، ۲۳۴۶، ۲۳۴۸، ۲۳۵۰، ۲۳۵۲، ۲۳۵۴، ۲۳۵۶، ۲۳۵۸

جذب سطحی حذف شده است (نمودار ۲). طبق مشاهدات صورت گرفته در حین انجام آزمایش ها مقدار pH افزایش پیدا می کند و pH از ۲ به ۲/۲۹ تبدیل می شود. این تغییرات pH بستگی به تغییرات غلظت محلول نیز دارد.

افزایش میزان pH محلول به علت کاهش یون های Cr(VI) به Cr(III) می باشد. زیرا در حین این تبدیل مقداری از پروتون های موجود در محیط مصرف شده و این امر باعث افزایش pH محیط می شود.

Cr(VI) در محلول بیشتر به دو حالت CrO_4^{2-} و $Cr_2O_7^{2-}$ می باشد. این گروه های آنیونی با گروه های مثبت بر روی توده سلولی پیوند برقرار می کند. وقتی pH بالا است سطح توده سلولی بیشتر دارای بار منفی است ولی در pH های پایین سطح توده سلولی دارای بار مثبت خواهد بود. در نتیجه گروه های آنیونی فلزات سنگین تمایل به ترکیب با پروتون های دیواره سلولی را دارند. گروه های آمینه و کربوکسیل و نیتروژن های گروه های پپتیدی برای برقراری ارتباط با یون های فلزی مناسب خواهند بود.

در pH های پایین پروتونه شدن گروه های موجود در دیواره سلولی (کربوکسیل و آمین) باعث به وجود آمدن بار مثبت بر روی توده سلولی شده و منجر به جذب یون های فلزی با بار منفی می شود (۱۱۰ و ۱۱۱).



نمودار ۱- اثر تغییرات pH بر روی جذب Cr(VI) توسط اسپرژیلوس نایجر

۱ pH= مورد آزمایش قرار می گیرد. در مراحل بعد اثرات تغییرات غلظت (۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ mg/l)، تغییرات دما (۲۷ °C، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵)، تغییرات دور شیکر (۱۰۰ rpm، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰) و میزان جاذب (۲-۰/۵) بررسی می شود. برای تنظیم pH از $HCl \cdot 1N$ و $NaOH \cdot 1N$ استفاده می شود. مقدار Cr total و Cr(VI) اندازه گیری می شود. در طی آزمایش از افزایش ناچیز حجم محلول که در اثر تغییرات pH ایجاد شده است، صرف نظر می کنیم.

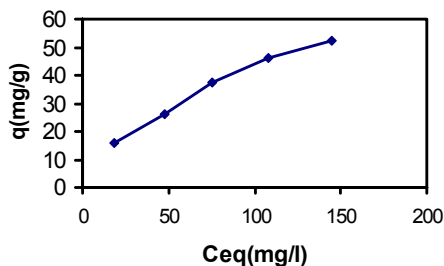
۳- آنالیز Cr total، Cr(VI)

غلظت Cr(VI) جذب نشده توسط روش رنگ سنجی و معرف ۵-۱ دی فنیل کربازید اندازه گیری می شود. در نتیجه واکنش این دو با یکدیگر کمپلکس ارغوانی رنگ در محیط اسیدی ایجاد می شود و اندازه گیری توسط روش اسپکتروفوتومتری در ۵۴۰ nm صورت می گیرد (UVIKON mode 922). محلول معرف از انحلال ۰/۲۵ gr از معرف ۵-۱ دی فنیل کربازید در ۵۰ cc استون به دست می آید. اندازه گیری کل کروم موجود در محلول توسط دستگاه Atomic Absorption (مدل GBC PLUS 932) انجام می گیرد و از اختلاف این دو مقدار، مقدار Cr(III) موجود در محلول را می توان به دست آورد.

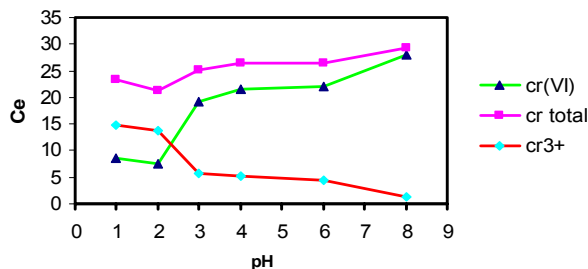
بحث و نتایج

۱- تغییرات pH

بر اساس آزمایش های انجام گرفته (نمودار ۱) جداسازی Cr(VI) در pH های مختلف بررسی و مشاهده شده است که با کاهش pH مقدار جذب افزایش می یابد و مقدار Cr(VI) کاهش پیدا می کند. در هنگام کاهش PH، میزان تبدیل Cr(VI) به Cr(III) بیشتر خواهد بود و در طی ۲۴ ساعت و غلظت ۰/۲ توده سلولی، مقدار غلظت Cr(VI) به ۷/۶۲ mg/l کاهش می یابد و غلظت Cr(III) ۱۳/۶۷ خواهد بود در نتیجه ۸/۷۱ mg/l Cr(VI) از طریق



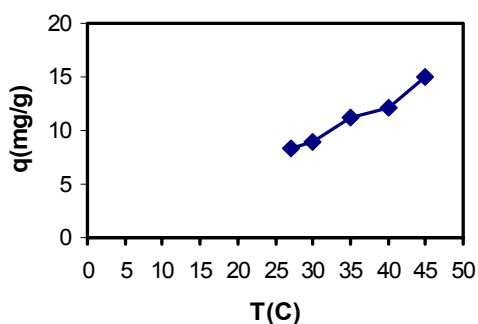
نمودار ۳- نمودار غلظت براساس میزان جذب Cr(VI) توسط آسپرژیلوس نایجر



نمودار ۲- اثر تغییرات pH بر جذب Cr(VI) و کل کروم Cr(III)

۳- اثر تغییرات دما

تغییرات دما نقش بسیار مهمی در کاهش Cr(VI) به Cr(III) و کاهش سمیت محلول دارد. نمودار ۴ اثر تغییرات دما را از ۲۷-۴۵°C نشان می دهد و مشخص می کند که در دمای ۴۵°C بعد از گذشت ۲۴ ساعت Cr(VI) کاملاً از محیط حذف شده است. افزایش دما باعث افزایش سرعت کاهش Cr(VI) به Cr(III) می شود. طبق معادله آرنیوس $K = Ae^{-E_a/RT}$ سرعت واکنش با $1/T$ رابطه مستقیم دارد و هر چه دما بیشتر شود انرژی فعال سازی کمتر و سرعت واکنش بیشتر می شود



نمودار ۴- اثر دما بر جذب بیولوژیکی Cr(VI)

۲- اثر تغییرات غلظت Cr(VI)

در این تحقیق غلظت های متفاوت از محلول کروم (۳) (۲۰۰-۳۰۰) mg/l بررسی و مشاهده شده که با افزایش غلظت، مقدار جذب افزایش می یابد. افزایش غلظت محلول باعث می شود تعداد مولکول ها در واحد حجم و تعداد برخوردهای مولکولی افزایش یافته و سرعت واکنش زیاد شود. آزمایش های تغییرات غلظت از مرتبه یکم تبعیت می کنند و حذف کامل یون های Cr(VI) با گذشت زمان اتفاق می افتد.

مقدار درصد جذب در غلظت های مختلف از معادله (۱) پیروی

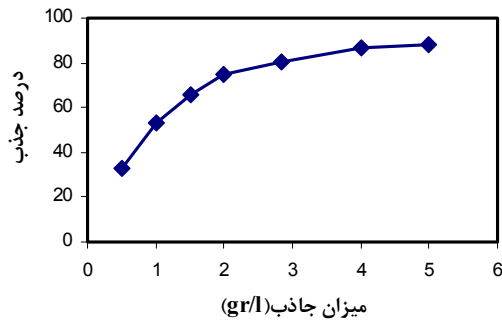
$$Ad\% = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

C_0 = غلظت اولیه محلول (mg/l)

C_e = غلظت نهایی محلول (mg/l)

در این آزمایش ۷۴/۶٪ از Cr(VI) موجود در محلول پس از گذشت ۲۴ ساعت به طریق جذب سطحی و کاهش Cr(VI) حذف شده است. با کاهش Cr(VI) به Cr(III) مقدار سمیت محلول کاهش یافته است.

میزان جداسازی Cr(VI) با افزایش میزان جاذب افزایش می یابد. ولی این مقدار در محدوده ۲-۳ gr/l تثبیت می شود و تغییرات زیادی در میزان جذب مشاهده نمی شود. واکنش مورد نظر از درجه اول پیروی می کند.



نمودار ۷- نمودار درصد جذب بر اساس میزان جاذب

ایزوترم های جذب

پدیده جذب فلزات و اکسی آنیون آنها می تواند به صورت کمی از ایزوترم های تعادلی جذب بیولوژیکی ارزیابی شود.

با برخورد بین جاذب و محلول، یک حالت تعادلی بین این دو با گذشت زمان ایجاد می شود.

در معادله لانگمویر فرض بر این است که تعداد مشخصی نقاط فعال بر روی سطح سلول توزیع شده، که این نقاط میل ترکیبی یکسانی برای ایجاد پیوند دارند و جذب در یک لایه اتفاق می افتد و هیچ گونه واکنشی بین مولکول های جذب شده اتفاق نمی افتد (۱۲)

مقدار ظرفیت جذب توده سلولی برای غلظت مشخصی از Cr(VI) توسط معادله (۲) محاسبه می شود

$$q_{eq} = \frac{(C_0 - C_{eq})}{X} V \quad (2)$$

C_0 = مقدار غلظت اولیه محلول (mg/l)

C_{eq} = مقدار غلظت نهایی محلول (mg/l)

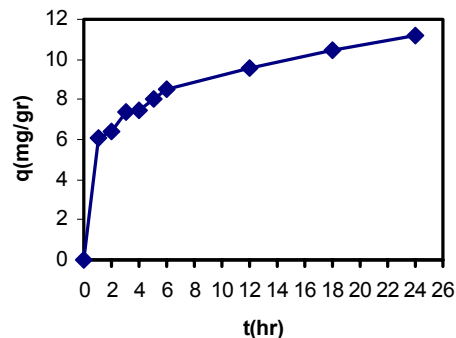
V = حجم محلول (L)

X = وزن توده سلولی (gr)

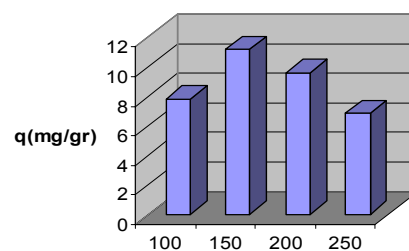
۴- اثر تغییرات زمان و دور شیکر

نمودار ۵ اثر تغییرات زمان از ۱ تا ۲۴ ساعت مورد بررسی قرار گرفته و مشخص شده که در طی ساعت اول بیشترین مقدار جذب رخ داده است ولی این مقدار ثابت نمانده و با گذشت زمان جذب در محلول رخ داده است. زیرا با گذشت زمان امکان تماس بین جاذب و محلول بیشتر می شود و مقدار جذب نیز بیشتر می گردد.

نمودار ۶ اثر تغییرات دور همزن را نشان می دهد طبق نتایج به دست آمده دور ۱۵۰ rpm بهترین دور برای انجام آزمایش ها می باشد، زیرا در دورهای بالاتر و پایین تر امکان تماس بین محلول و جاذب کاهش یافته جذب کم می شود.



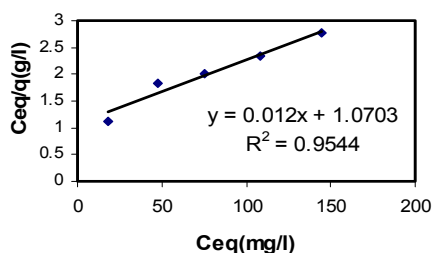
نمودار ۵- اثر زمان بر جذب بیولوژیکی Cr(VI)



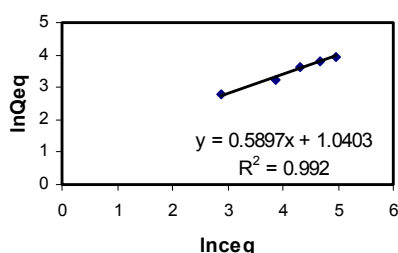
شکل ۶- اثر دور همزن بر جذب بیولوژیکی Cr(VI)

۵- اثر تغییرات میزان جاذب

نمودار ۷ اثر تغییرات میزان جاذب را بر جذب Cr(VI) نشان می دهد. در این آزمایش ها مقدار ۲-۵ gr/l از جاذب مورد استفاده قرار می گیرد. مشاهدات نشان می دهد



نمودار ۸- ایزوترم جذب لانگمور بر روی Cr(VI) توسط آسپرژیلوس نایجر



نمودار ۹- ایزو ترم جذب فروندلیش بر روی Cr(VI) توسط آسپرژیلوس نایجر

در مرحله بعد نتایج به دست آمده در دو مدل فرندلیش و لانگمور جایگزین شده و مشاهده می شود مقادیر به دست آمده از این دو مدل تبعیت می کند روابط ۳ و ۴ هر دو مربوط به مدل فرندلیش می باشد

$$q_{eq} = k C_{eq}^{1/n} \quad (۳)$$

$$\ln q_{eq} = \ln k + 1/n \ln C_{eq} \quad (۴)$$

C_{eq} مقدار غلظت باقی مانده در محلول می باشد q_{eq} برابر است با مقدار فلز جذب شده در هر گرم توده سلولی و مقادیر k و n پارامترهای جذب می باشند

رابطه لانگمور:

$$\frac{C_{eq}}{q_{eq}} = \frac{1}{K_b A_s} + \frac{C_{eq}}{A_s} \quad (۵)$$

نمودار ۹ و ۸ تبعیت نتایج به دست آمده را از معادلات لانگمور و فرندلیش نشان می دهد

ثابت های مدل های فرندلیش و لانگمور

مشخصات	ثابت های مدل فرندلیش			ثابت های مدل لانگمور		
	n	R ²	K	K _b (1/mg)	R ²	A _s (mg/g)
آسپرژیلوس کشته شده در NaOH	۱/۰۹۷	۰/۹۹۲	۰/۶۹۶	۰/۱۲۸	۰/۹۵۴۴	۸۳/۳۳

نتیجه گیری

pH مواجه خواهیم بود. کلیه آزمایش ها از مرتبه اول پیروی می کنند. کلیه مقادیر به دست آمده از مدل های فرندلیش و لانگمور پیروی می کنند و با مقایسه مقادیر به دست آمده با آزمایش ها صورت گرفته با کمک جاذب غیر فعال شده با روش اتوکلاو و کشتن میکروارگانیزم توسط دما، با این واقعیت مواجه خواهیم بود که جوشاندن سلول های قارچ در محیط بازی NaOH باعث افزایش کارایی و بالا رفتن جذب تا چندین برابر می شود (۹۱) موجب می شود. بر روی دیواره سلول خلل و

جذب سطحی یکی از روش هایی است که برای حذف فلزات سنگین استفاده می شود. استفاده از میکروارگانیزم ها روشی بسیار ارزان قیمت می باشد و به علت عمل بازجذب مورد توجه صنایع بسیاری می باشد که از جمله مزایای آن است. جذب سطحی Cr(VI) با کاهش pH افزایش پیدا می کند و با افزایش غلظت نیز افزایش می یابد. در ضمن با افزایش دما نیز با افزایش جذب مواجه هستیم. بهترین جذب مشاهده شده در pH = ۲ می باشد و در طی انجام آزمایش با افزایش میزان

- wastes.applied microbiology and Biotechnology.springer.Berlin.1991.p.688
6. R.Sudhabai.T.EmiliaAbraham(2003).Studies on chromium(VI) adsorption-desorption using immobilized fungal biomass. Bioresource Technology 87:17-26
 7. M.I.kefala.AizoubulisK.A.Matis(1999) biosorption of chromium(VI) from aqueous solution by green algae *Spirogyraspecies*.BY.Enviren.Pollut35. 4079-4085
 8. Peters R.W.Young.K.and Bhattacharyya D(1985) evaluation of recent treatment techniques for removal of heavy metals from industrial wastewater. ALCHE symp.series 81.1605-1703
 9. A.kapoor and T.Viraraghava (1998). Removal of heavy metals aqueous solutions using immobilized fungal biomass in continuous mode. Wat. Res.vol.32.no.6, pp.1968-1977
 10. Y.Sag.U.Acikel.Z.aksu.T.Kutsal(1998) comparative study for the simultaneous biosorption of Cr(VI) and Fe(III) on *C-vulgaris* and *R-arrhizus*: application of the competitive adsorption models. Process Biochem. 33(3) 273-281
 11. Yun Y-S park JM Volesky(2001).Biosorption of trivalent chromium on the brown seaweed biomass.Environ Sci technol.35:43538
 12. M.Ziagova.G.Dimitriadis.D.Aslanidou. X.Papaioam(2006)comparative study of Cd(II)and Cr(VI)biosorption on *Saphylococcus Xylosus* and *Pseudomonas sp*.Bioresource Technology 36.167-171.
- فرج هایی ایجاد شود که اکسی آنیون کروم در آن مکان ها قرار گیرد. یون های کرومات به چند طریق از محیط خارج می شوند. ۱- از طریق تماس مستقیم با توده سلولی ۲- جذب سطحی با گروه های دارای بار مثبت ۳- کاهش Cr(VI) توسط گروه هایی که پتانسیل کاهش کمتری دارند. در طی انجام واکنش یون های Cr(VI) با کاهش یافتن به Cr(III) و از طریق جذب سطحی از محیط حذف می شوند.
- مقدار درصد حذف Cr(VI) بعد از ۲۴ ساعت ۷۴/۶ % می باشد که در مقایسه با روش های دیگر غیر فعال کردن توده سلولی، این روش بازده بهتری را در بر دارد

منابع

1. Donghee park. Yeung-sang Yun, Jong Moon Park (2005).Use of fungal biomass for the detoxification of hexavalent chromium:screening and kinetics. Process Biochemistry 40:2559-2565
2. Park.Donghee.Yeung-sang Yun.Seong-Rin Lim.and Jong Moon Park (2006). Kinetic analysis and mathematical modeling of Cr(VI) removal in a differential reactor packed with *ecklonia* biomass.j.Microbial.B iotechnol.16.784-790
3. Yasemin Sahin.Ayten Ozturk(1999) biosorption chromium(VI)ions from aqueous solution by the bacterium *bacillus thuringiensis* .process biochemistry 40.1895-1901
4. Holan Z.R and Volesky B.(1995)Accumulation of cadmium.lead. and nickel by fungal and wood biosorption. Appl. Biochem. Biotechnol.53.133-146
5. L.E.uef.T.prey.C.P.Kubicek(2005).biosorption of zinc by fungal mycelial