جذب سطحی کادمیم توسط لجن مازاد فرایند لجن فعال فاضلاب شهری

قدرت‌اله شمس‌خرم‌آبادی[1] رضا درویشی چشمه سلطانی[2] سهند جرفی[3]

(دریافت ۸۷/٤/۳۱ پذیرش ۸۸/۷/۵)

چکیده

یکی از فلزات سنگین خطرناکی که در صنایع مختلف کاربرد دارد، کادمیم است. این فلز سمیّت زیادی دارد و برای محیط زیست تهدید جدی محسوب می‌شود. یکی از روشهای حذف این فلز از فاضلاب، استفاده از لجن دفعی فرایند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب است. در این مطالعه لجن فعال دفعی خشک شده یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری به دو صورت تصفیه شده و تصفیه نشده به‌منظور جذب سطحی کادمیم استفاده شد. لجن فعال مازاد خشک شده تصفیه‌خانه فاضلاب شهری با استفاده از پراکسید هیدروژن یک درصد تصفیه شد. مطالعات سینتیک جذب با استفاده از ارلن مایر به‌عنوان راکتور جریان ناپیوسته در غلظت اولیه کادمیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر با اندازه ذرات جاذب بین ۵۰ تا ۷۰ مش صورت گرفت. مدل‌های سینتیک جذب شبه درجه اول و شبه درجه دوم برای ارتباط بین داده‌های آزمایشگاهی به‌کار برده شدند. مطالعه نشان داد پیش تصفیه با پراکسید هیدروژن، ظرفیت جذب تعادلی را افزایش می‌دهد. ظرفیت جذب تعادلی برای جذب کادمیم بر روی لجن فعال مازاد تصفیه شده با پراکسید هیدروژن و لجن فعال مازاد تصفیه نشده به‌ترتیب ۳۹/۸٤ و ۲۰/۲ میلی‌گرم بر گرم به‌دست آمد. افزایش pH در هر دو حالت باعث افزایش میزان جذب گردید. ضرایب همبستگی به‌دست آمده برای مدل‌های سینتیک شبه درجه اول ($R^2 >$ ۰/۸۷) و شبه درجه دوم ($R^2 >$ ۰/۹٦) نشان داد که مدل شبه درجه دوم نسبت به مدل شبه درجه اول، داده‌های به‌دست آمده در مورد هر دو نوع لجن تصفیه شده و تصفیه نشده را بهتر توصیف می‌کند.

واژه‌های کلیدی: جذب سطحی، کادمیم، لجن فعال مازاد خشک‌شده، پراکسیدهیدروژن، مدل‌های سینتیک

Cd(II) Adsorption Using Waste Sludge from a Municipal Wastewater Treatment System

Ghodratallah Shams Khorramabadi [1] Reza Darvishi Cheshmeh Soltani [2] Sahand Jorfi [3]

(Received July 22, 2008 Accepted Sep. 27, 2009)

Abstract

In this study, dried waste activated sludge from a municipal wastewater treatment plant was used for Cd (II) ion adsorption with and without pre-treatment. Waste activated sludge was treated with 1% Hydrogen peroxide. Cd (II) adsorption was investigated at an initial Cd(II) concentration of 50 mgL^{-1} with an adsorbent particle size of 50-70 mesh in erlenmeyer flasks used as batch reactors. The pseudo-first and pseudo-second order kinetic models were used to determine the correlation among the experimental data. The results showed that pretreatment of waste sludge with H_2O_2 increased equilibrium adsorption capacity. The equilibrium adsorption capacity values obtained for waste activated sludge with and without pretreatment were 39.84 and 20.2 mgg^{-1}, respectively, which increased with increasing solution pH. The correlation coefficients obtained for pseudo-first (R^2>0.87) and pseudo -second (R^2>0.96) order kinetic models showed that the latter model better described the experimental data on both types of treated and untreated activated sludge than the latter.

Keywords: Adsorption, Cd(II), Dried Waste Activated Sludge, Hydrogen Peroxide, Kinetic Models

۱- دانشیار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد
۲- دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
(نویسنده مسئول) ۸۸۹۵۶۴۸۷ (۰۲۱) rezadarvish86@yahoo.com
۳- دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

1. Assoc. prof., Faculty of Public Health, Lorestan University of Medical Sciences, Khoramabad
2. Ph.D. Student of Environmental Health Eng., Tarbiat Modarres University, Tehran (Corresponding Author) (98 21) 88956487 rezadarvish86@yahoo.com
3. Ph.D. Student of Environmental Health Eng.,, Tarbiat Modarres University, Tehran

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی، آلودگی آبهای‌سطحی و زیرزمینی به فلزات سنگین است [۱-۴]. از آنجا که فلزات سنگین سمیّت زیادی دارند، تهدیدی جدی برای محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها و حیوانات محسوب می‌شوند [۵-۷]. سمیّت فلزات سنگین در موجودات زنده، ناشی از تمایل شدید این فلزات به واکنش با گوگرد و مختل کردن فعالیت آنزیم‌های حیاتی است. علاوه بر سمیّت این فلزات، خاصیت تجمع‌پذیری آنها در موجودات زنده اهمیت بهداشتی آنها را بیشتر نموده است [۸ و ۹]. یکی از مهم‌ترین فلزات سنگینی که در صنایع مختلف مانند صنایع الکتریکی، ارتباطات، هوا فضا، آبکاری، پلاستیک‌سازی، باطری‌سازی، آلیاژسازی، رنگرزی، کودسازی و ساخت راکتورهای هسته‌ای کاربرد دارد، کادمیم است. عوارض سوء بهداشتی کادمیم نظیر آسیب به کلیه و شش، سرطان‌های مختلف و فشارخون در انسان به اثبات رسیده است [۱۰و۱۱]. مهم‌ترین روشهای حذف فلزات سنگین از جمله کادمیم ترسیب شیمیایی، تبخیر، استخراج حلال، فرایندهای غشایی، جذب سطحی و تبادل یون است [۱۲]. متداول‌ترین روش حذف فلزات سنگین، ترسیب شیمیایی است که معایبی مانند عدم حذف کامل و تولید لجن حجیم را در بر دارد [۹]. ضمن آنکه حذف غلظتهای کم فلزات سنگین به‌وسیله روش ترسیب شیمیایی مقرون به صرفه نیست. تکنولوژی‌های تبادل یون و اسمز معکوس اگر چه استانداردهای مورد نظر برای تخلیه کادمیم را می‌توانند تأمین کنند اما هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری زیادی دارند [۱۳]. دیگر روشهای عنوان شده نظیر تبخیر، استخراج حلال و فرایندهای غشایی به‌خصوص اگر غلظت فلزات محلول در حد پایینی باشند، بسیار گران هستند [۱۲]. امروزه مطالعات وسیعی در راستای استفاده از جاذبهای زیستی شامل قارچها، باکتری‌ها، مخمرها و جلبکها برای حذف آلاینده‌هایی نظیر فلزات سنگین صورت گرفته است. مزایای فرایند جذب زیستی از جمله ارزان قیمت بودن، جذب سریع و کارایی بالا، ظرفیت بالای جذب، خاصیت انتخابی مواد جاذب زیستی در جذب فلزات، قابلیت احیای جاذب، استفاده مجدد ازآن و بازیافت فلزات جذب شده، باعث مطلوب بودن این فرایند برای حذف فلزات سنگین گردیده است [۱۴و ۱۵]. یکی از روشهای حذف مطلوب فلزات سنگین از فاضلاب که در سالهای اخیر مطالعات زیادی روی آن صورت گرفته است، استفاده از لجن دفعی فرایند تصفیه بیولوژیک فاضلاب است. مطالعه جذب بیولوژیکی بر روی لجن تصفیه‌خانه‌ها اعم از لجن فعال، لجن دفعی، گرانول هوازی و بی‌هوازی انجام گرفته است. لجن فاضلاب به‌علت وجود توده ناهمگن میکروارگانیسمی و کنسرسیوم[1] میکربی، بیومس مناسبی برای مطالعات جذب بیولوژیکی است [۱۶ و ۱۷]. در کاربردهای صنعتی جاذب زیستی از بیومس غیر زنده استفاده می‌گردد زیرا نیاز به مواد مغذی ندارد و می‌تواند به راحتی در محیطی با سمیّت بالا استفاده شود [۱۶]. بر همکنش بین فلزات و بیومس در نتیجه اتصال فلز به گروههای عامل موجود بر روی دیواره سلولی و یا بیوپلیمرهای میکروارگانیسم‌های غیر زنده مانند گروههای کربوکسیلیک، آمینو، فسفات و سولفات صورت می‌گیرد [۱۷]. در این مطالعه اثر مواد تصفیه کننده لجن به ویژه پراکسیدهیدروژن بر روی جذب تعادلی این جاذب در قیاس با لجن تصفیه نشده مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. یکی از روشهای تحلیل واکنش جذب، استفاده از معادلات سینتیک جذب است که پرکاربردترین این مدل‌ها، مدل شبه درجه اول و شبه درجه دوم است. مدل شبه درجه اول در رابطه ۱ نشان داده شده است

$$\frac{dq}{dt} = k_{1ads}(q_e - q) \qquad (۱)$$

که در آن

q_e میزان تعادلی جذب یون فلزی بر روی جاذب بیولوژیکی برحسب میلی‌گرم بر گرم، q میزان جذب یون فلزی بر روی جاذب بیولوژیکی در هر یک از زمان‌های مورد مطالعه و K_{1ads} ثابت معادله شبه درجه اول است.

انتگرال‌گیری از این رابطه در بازه‌های زمانی t=0 تا t=t و میزان جذب q=0 تا $q=q_e$ رابطه ۲ را نتیجه می‌دهد

$$\log(q_e - q) = \log q_e - \frac{k_{1ads}}{2.303}t \qquad (۲)$$

با ترسیم معادله لگاریتم اختلاف جذب تعادلی و جذب در هر زمان($\log(q_e-q)$)در مقابل زمان(t) در صورتی که منحنی به‌دست آمده حالت خطی داشته باشد، سینتیک جذب از این مدل تبعیت می‌کند.

معادله شبه درجه دوم بر پایه این فرضیه است که جذب بیولوژیکی از مکانیسم درجه دوم تبعیت می‌کند، یعنی اینکه نرخ به‌کارگیری سایت‌های جذب کننده، متناسب با تعداد سایت‌های به کار گرفته شده با توان دوم می‌باشد. رابطه ۳ این مدل را نشان می‌دهد

$$\frac{dq}{dt} = k_{2ads}(q_e - q)^2 \qquad (۳)$$

که در آن

K_{2ads} ثابت نرخ جذب با درجه دوم برحسب گرم بر میلی‌گرم در دقیقه است.

[1] Cansartium

با انتگرال‌گیری این معادله در بازه‌های زمانی t=0 تا t=t و جذب q=0 تا $q=q_e$ و خطی کردن آن، رابطه ۴ به‌وجود می‌آید

$$\frac{t}{q}=\frac{1}{k_{2ads}q_e^{2}}+\frac{1}{q_e}t \qquad (۴)$$

مقادیر q_e و K_{2ads} با توجه به رسم منحنی خطی (t /q) در مقابل زمان(t) به‌دست خواهد آمد[۱۸].

۲- مواد و روشها

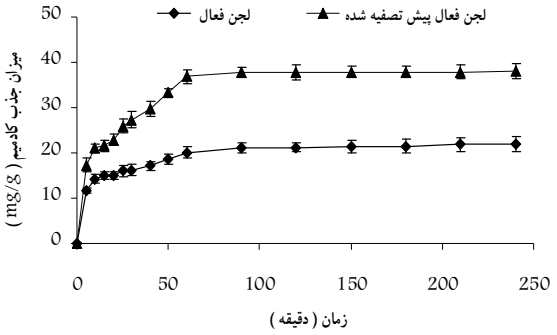
۲-۱- روش آزمایش

جاذب مورد مطالعه در این تحقیق لجن فعال دفعی خشک شده بود. لجن فعال دفعی از یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری در تهران تهیه شد. به‌منظور جداسازی ناخالصی‌ها شستشو انجام شد، پس از شستشو، بیومس‌های حاصل در کوره برقی با دمای ۶۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت، خشک شد و تا زمان استفاده، در دسیکاتور نگهداری شد. عمل خردسازی با استفاده از یک آسیاب صورت گرفت. در مرحلهٔ بعد جاذب با استفاده از الکهای استاندارد در اندازه ۰/۲ تا ۰/۳ میلی‌متر با مش ۵۰ تا ۷۰ سرند شد.

تمام محلولهای آزمایش سنتتیک بود و با استفاده از آب دیونیزه و نمک $Cd(NO_3)_2$ آماده شد. کادمیم محلول با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر از محلول اصلی، آماده شد. به‌منظور جلوگیری از ترسیب فلز، چند قطره اسید نیتریک به محلول اضافه شد. تهیه محلول استاندارد کادمیم با استفاده از روش پیشنهادی کتاب استاندارد متد صورت گرفت[۱۹]. pH اولیه محلولهای سنتتیک با استفاده از هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار و اسید هیدروکلریک ۰/۱مولار و به وسیله یک pH متر در مقادیر دلخواه تنظیم شد. مطالعات در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از ارلن مایر به‌عنوان راکتور جریان ناپیوسته انجام گردید. محلول پیش تصفیه پراکسید هیدروژن یک درصد به میزان ($g_{biomass}/L_{H2O2}$) ۱۰ به‌کار برده شد. از یک همزن[1] با سرعت همزن ۱۵۰ دور در دقیقه و ارلن‌هایی با حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر برای اختلاط محلولهای سنتتیک و جاذبها استفاده گردید. تمام آزمایش‌ها در دمای اتاق (۲۵±۱°C) انجام شد. در آزمایش‌های زمان تعادل جذب، غلظت اولیه فلز معادل ۵۰میلی‌گرم در لیتر و میزان جاذب مورد استفاده در هر ظرف، ۱گرم در لیتر انتخاب شد. آزمایش تعیین زمان تعادل جذب با توجه به پروفیل جذب کادمیم بر حسب زمان به‌مدت ۴ ساعت به‌منظور حصول اطمینان از عدم تغییرات احتمالی پس از نقطه تعادل در پروفیل جذب انجام گردید و نمونه‌ها در زمان‌های مختلف از ارلن‌ها برداشته شدند. سپس با استفاده از فیلتر غشایی[2] میلی پور ۰/۴۵ میکرون، جاذب از محلول جدا شده و غلظت باقیمانده فلز با استفاده از دستگاه اسپکترومتر جذب اتمی شعله‌ای مدل WFX-130 محصول شرکت بریک[3] تعیین گردید. تمامی آزمایش‌های صورت گرفته برای حصول دقت و صحت نتایج به‌دست آمده، سه مرتبه تکرار شدند.

۲-۲- مطالعه زمان تعادل جذب سطحی کادمیم توسط لجن فعال مازاد خشک شده

پروفیل جذب سطحی کادمیم توسط لجن فعال دفعی در دو حالت تصفیه شده با پراکسید هیدروژن و تصفیه نشده نسبت به زمان در شکلهای ۱ تا ۳ آورده شده است. مطالعه جذب کادمیم با استفاده از لجن فعال پیش تصفیه شده با پراکسید هیدروژن در غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیم و ۱ گرم در لیتر ماده جاذب انجام شد. این مطالعه نشان داد که جذب کادمیم با استفاده از لجن فعال پیش تصفیه شده با پراکسید هیدروژن و لجن فعال تصفیه نشده در غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم در لیتر پس از گذشت ۶۰ دقیقه به حالت تعادل می‌رسد و پس از آن جذب با سرعت بسیار اندک اتفاق می افتد.



شکل ۱- روند تغییرات جذب کادمیم بر روی لجن فعال تصفیه نشده و پیش تصفیه شده با پراکسید هیدروژن

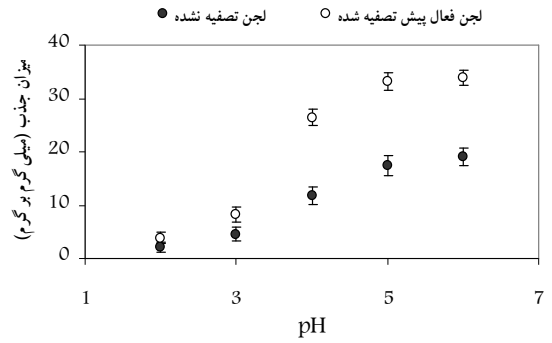
۲-۳- اثر pH بر روی جذب سطحی کادمیم توسط لجن فعال دفعی خشک شده

شکل‌های ۲ و ۳ اثر pH در مقادیر ۲ تا ۶ را بر میزان جذب کادمیم نشان می‌دهد. با افزایش pH در مورد هر دو نوع لجن تصفیه شده و تصفیه نشده، میزان جذب افزایش می‌یابد. زمانی که pH از ۴ به ۵ و در نهایت به ۶ می‌رسد میزان جذب روند یکنواختی پیدا می‌کند به نحوی که تفاوت قابل ملاحظه‌ای در میزان جذب در pHهای ۵ و ۶ مشاهده نمی‌شود. بنابراین می‌توان pH معادل ۵ را به‌عنوان pH

[1] Shaker

[2] Membrane Filter
[3] Braik

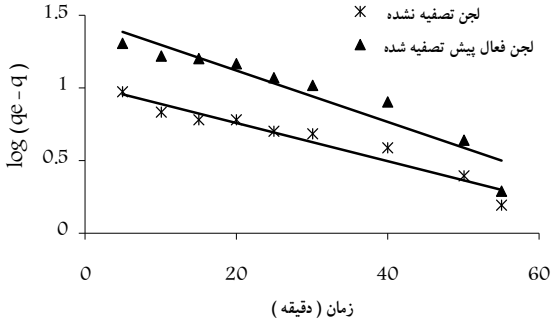
بهینه جذب و pH ۴ را به‌عنوان pH میانگین جذب برای جاذب در نظر گرفت. در pH های بالای ۷ مطالعات جذب به دلیل بروز فرایند ترسیب، صورت نگرفت. غلظت یون‌های هیدروژن یکی از مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار بر فرایند جذب است. درمقادیر pH پایین، کاهش میزان جذب می‌تواند به دلیل تحرک بالاتر یون‌های هیدروژن نسبت به یون‌های فلزی باشد. تحرک بالاتر یون‌های هیدروژن باعث می‌شود این یون‌ها پیش از یون‌های فلزی با محلهای فعال جذبی واکنش دهند [۲۰]. بیشترین میزان جذب کادمیم در مقادیر pH مورد آزمایش برای لجن تصفیه نشده و تصفیه شده با پراکسید هیدروژن به‌ترتیب۱۹/۰۲ و ۳۳/۹۱ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است.



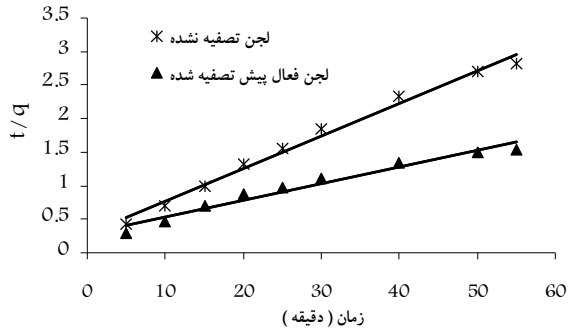
شکل ۲- اثر pH بر روی جذب سطحی کادمیم توسط لجن فعال دفعی خشک شده

۲-۴- مدل‌سازی سینتیک جذب سطحی کادمیم توسط لجن فعال دفعی خشک شده

مدل‌سازی جذب سطحی کادمیم بر روی لجن فعال دفعی خشک شده در دو حالت تصفیه شده با پراکسید هیدروژن و تصفیه نشده با استفاده از معادله شبه درجه اول و شبه درجه دوم در شکلهای ۳ و ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳- مدل‌سازی سینتیک جذب کادمیم بر روی لجن فعال تصفیه نشده و پیش تصفیه شده با استفاده از معادله شبه درجه اول



شکل ۴- مدل‌سازی سینتیک جذب کادمیم بر روی لجن فعال تصفیه نشده و پیش تصفیه شده با استفاده از معادله شبه درجه دوم

جدول ۱ ضریب همبستگی (R^2) سینتیک جذب کادمیم بر روی لجن فعال تصفیه شده و تصفیه نشده را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی سینتیک جذب کادمیم بر روی لجن فعال پیش تصفیه شده با پراکسید هیدروژن و لجن فعال تصفیه نشده با استفاده از مدل شبه درجه اول به‌ترتیب ۰/۸۷۳۶ و ۰/۸۹۷۱ به‌دست آمد. ضریب همبستگی سینتیک جذب کادمیم بر روی لجن فعال پیش تصفیه شده با پراکسید هیدروژن و لجن فعال تصفیه نشده با استفاده از مدل شبه درجه دوم به‌ترتیب ۰/۹۶۵۷و ۰/۹۸۷۴ به‌دست آمد.

جدول ۱- ضریب همبستگی سینتیک جذب کادمیم بر روی لجن فعال پیش تصفیه شده و تصفیه نشده

معادله	معادله شبه درجه اول		معادله شبه درجه دوم	
جاذب	لجن فعال تصفیه نشده	لجن فعال پیش تصفیه شده	لجن فعال تصفیه نشده	لجن فعال پیش تصفیه شده
R^2	۰/۸۹۷۱	۰/۸۷۳۶	۰/۹۸۷۴	۰/۹۶۵۷

با مقایسه رابطه و معادله خط رگرسیون به‌دست آمده از مدل جذب شبه درجه دوم که ضریب همبستگی بالاتری دارد، می‌توان میزان جذب تعادلی (q_e) و ثابت نرخ جذب درجه دوم را برحسب معادله خطی به‌دست آمده از خط رگرسیون، محاسبه نمود. در این حالت میزان جذب تعادلی ۳۹/۸۴ میلی‌گرم کادمیم بر گرم لجن فعال دفعی پیش تصفیه شده با پراکسید هیدروژن به‌دست آمد در حالی‌که میزان جذب تعادلی ۲۰/۲ میلی‌گرم کادمیم بر گرم برای لجن فعال دفعی تصفیه نشده به‌دست آمد.

۳- نتایج و بحث

بیشترین مقادیر جذب کادمیم توسط لجن فعال پیش تصفیه شده با پراکسید هیدروژن و لجن فعال تصفیه نشده، در یک ساعت اول

تماس با جاذب رخ می‌دهد به‌طوری که بعد از یک ساعت پروفیل سینتیک جذب، افقی شده و محلول به تعادل جذب خود می‌رسد. آنتونز[1] و همکاران در سال ۲۰۰۳ در مطالعه‌ای که به روی جذب مس توسط جلبک سارگاسوم انجام دادند نشان دادند که پروفیل سینتیک جذب در ۲۰ دقیقه ابتدایی به حالت افقی در آمده و بیشتر جذب در ۱۰ دقیقه ابتدایی صورت پذیرفته است [۲۱]. حداکثر سرعت جذب کادمیم در طی ۳۰ دقیقه نخست واکنش اتفاق افتاده است و در طی این مدت برای لجن فعال پیش تصفیه شده با پراکسید هیدروژن و لجن فعال تصفیه نشده به‌ترتیب ۷۲ و ۷۸ درصد ظرفیت جذب کامل گردید. در جاذبهای زیستی همواره در دقایق اولیه فرایند جذب، سرعت واکنش بالاست و پس از یک سیر صعودی سریع، پروفیل جذب کم کم به موازات با محور افقی میل می‌کند. با توجه به اینکه فرایندهای جذب از نوع واکنش‌های تعادلی هستند، زمان تماس در پیشرفت واکنش نقش دارد و همچنین واکنش تا رسیدن به تعادل پیش می‌رود. چنانچه جزء جذب شونده به راحتی به مکان‌های جذب جسم جاذب دسترسی پیدا کند، نیاز به زمان تماس کمتری دارد تا میزان جذب به حداکثر خود برسد؛ اما هرگاه این دسترسی مشکل باشد، زمان تماس باید افزایش یابد تا به حداکثر جذب برسد [۲۱ و ۲۲].

زمان رسیدن به تعادل جذب برای لجن فعال در مقایسه با دیگر مواد بیولوژیکی طولانی‌تر است که این امر ممکن است به‌علت ناهمگن بودن محتوای میکروارگانیسم‌های موجود در لجن فعال باشد. لجن فعال می‌تواند شامل کلنی‌های متفاوتی همچون *میکروتریکس پارویسلا*[2]، *نوکاردیا آمارا*[3] و *پروتئوباکتریا*[4] باشد [۱۷]. فولادی فرد و همکاران در سال ۱۳۸۷ در مطالعه‌ای که بر روی جذب کادمیم به‌وسیله لجن فعال پودری بدون تأثیر مواد پیش تصفیه کننده انجام دادند، نشان دادند که تعادل جذب در مدت زمان ۲ ساعت به وقوع می‌پیوندد [۲۳]. کاهش میزان جذب با کاهش pH، نشان دهنده رقابت یون‌های هیدروژن و یون‌های فلزی در اشغال محلهای جذب بر روی جاذب می‌باشد. در pH پایین به‌دلیل افزایش غلظت یون‌های هیدروژن و تحرک آنها، میزان جذب کمتر است. القدا[5] در سال ۲۰۰۶ در مطالعه‌ای بر روی جذب کادمیم توسط لجن فعال پودری نشان داد که در مورد انواع لجن تصفیه شده و تصفیه نشده، با کاهش pH میزان جذب کاهش می‌یابد[۲۰]. مقایسه ضرایب همبستگی نشان دهنده تطابق بالای سینتیک جذب کادمیم توسط لجن فعال پیش تصفیه شده با پراکسیدهیدروژن و لجن فعال تصفیه نشده از مدل شبه درجه دوم است (R^2 به‌ترتیب ۰/۹۶۵۷و۰/۹۸۷۴ به‌دست آمد). سینتیک جذب فلز کادمیم توسط لجن فعال پیش تصفیه شده با پراکسیدهیدروژن و لجن فعال تصفیه نشده از مدل شبه درجه دوم پیروی کرده و تطابق سینتیک جذب کادمیم توسط لجن فعال پیش تصفیه شده با پراکسید هیدروژن کمی بیشتر از لجن فعال تصفیه نشده است.

فولادی فرد و همکاران در سال ۱۳۸۷ در مطالعه‌ای حذف کادمیم توسط لجن فعال پودر شده را مورد بررسی قرار دادند که نتایج مطالعه نشان داد جذب کادمیم بر روی لجن فعال پودری و بدون پیش تصفیه از معادله سینتیک شبه درجه دوم پیروی می‌کند که با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه منطبق است [۲۳]. همچنین یان[6] و ویراقاوان[7] در سال ۲۰۰۳ در مطالعه‌ای نشان دادند که جذب فلزات سنگین کروم، سرب، نیکل، کادمیم و روی توسط توده جلبکی زنده موکور از معادله شبه درجه دوم پیروی می‌کند [۱]. معادله شبه درجه دوم بر پایه این فرضیه است که جذب بیولوژیکی از مکانیسم درجه دوم تبعیت می‌کند، یعنی اینکه نرخ به‌کارگیری سایت‌های جذب کننده متناسب با تعداد سایت‌های به‌کار گرفته شده با توان دوم است.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد ظرفیت جذب تعادلی کادمیم توسط لجن فعال پیش تصفیه شده با پراکسید هیدروژن ۳۹/۸۴ میلی‌گرم کادمیم بر گرم لجن فعال دفعی خشک شده بود، در حالی که ظرفیت جذب تعادلی کادمیم توسط لجن فعال تصفیه نشده ۲۰/۲ میلی‌گرم کادمیم بر گرم لجن فعال دفعی خشک شده به‌دست آمد. بنابراین نتایج این مطالعه می‌تواند گویای این مطلب باشد که استفاده از مواد پیش تصفیه کننده‌ای نظیر پراکسید هیدروژن می‌تواند ظرفیت جذب زیستی جاذب‌های زیستی نظیر لجن فعال را افزایش دهد.

[1] Antunes
[2] Microthrix Parvicella
[3] Nocardia Amarae
[4] Proteobacteria
[5] Al-Qodah
[6] Yan
[7] Virarghavan

۵- مراجع

1-Yan, G., and Viraraghavan, T. (2003). "Heavy metal removal from a queous Solution by *fungus Mucor rouxii*." *Wat. Res.*, 37 (18), 4486-4496.

2- Guibal, E., Roulph, C., and Cloirec, P.L. (1992). "Uranium biosorption by a filamentous *fungus Mucor* miehei: plt effect on mechanisms and performances of Uptake." *Wat. Res*., 26 (8), 39-45.

3- Hutton, M., and Symon, C. (1986). "Quantities of cadmium, lead, mercury and arsenic entering the environment from human activities." *Sci. Tital. Environ*., 57, 129-150.

4- Nriagu, J.O.(1988). "Asilent epidemic of environmental Metal Poisoning." *Environ. Pollution*, 50, 139-161.

5- Yun- guo, L. (2006). "Removal of cadmium and zinc ions from aqueous solution by living *Aspergillus nigar* Trans." *Nonferrous Met. Soc. China*, 16 (3), 681-686.

6- Kapoor, A., Viraghavan, T., and Cullimore, D.R. (1999). "Removal of heavy Metals using the fungus *Aspergillus niger*." *Bioresource Technol*., 70 (10), 95-104.

7- Sternbery S. P., and Dorn, R.W. (2002) "Cadmium removal using *Cladophora* in batch, semi- batch and flow reactors." *Bioresource Technol*., 81 (3), 249-255.

8- Barid, C.(1995). *Environmental chemistry*, W. H. Freeman and Company.

9- Gupta, V. K., Shivastava, A. K., and Hain, N. (2001). "Biosorption of chromium (VI) from aquous solutions by green algae *Spirogyra* species." *Wat. Res.*, 35 (17), 4079-4085.

10- Cruz, C., V. C., Costa, A. C. A., Henriques, C.A., and Luna, A.S. (2004). "Kinetic modeling and equilibrium studles during cadmium biosorption by dead *Sargassum Sp*. Biomass." *Bioresource Technol*, 91 (3), 249-257.

11- Yin, J., and Blanch, H.W. (1989). "Abio-mimetic Cadmium adsorbet: design, synthesis, and characterization." *Bioeng*., 34 (2), 180-188.

12- Wilde, E.W., and Benemann, J.R. (1993). "Bioremoval of heavy metal by the use of micro- algae." *Biotech. Adv*., 11 (4), 781-812.

13- Butter, T.J., Evison, L. M., Hancock, I. C., and et al. (1998). "The removal and recovery of Cadmium from dilute aqueous solutions by biosorption and electrolysis at laboratory scale." *Wat. Res*., 32 (2), 400-406.

14- Volesky, B. (1990). *Biosorption of heavy metals*, CRC press, Boca Raton. USA.

15- Matheickal, J. T., and Yu, Q.(1996). "Biosorption of lead from aqueous solution by marine alga *Ecklonia radiate*." *Water. Sci. Technol*, 34 (7), 1-7.

16-Volesky,B.(2001)."Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century." *Hydrometallurgy*, 59 (2-3), 203-216.

17-Norton, L., Baskaran, K., and McKenzie, T.(2004). "Biosorption of zinc from aqueous solutions using biosolids." *Advances in Environmental Research*, 8 (3-4), 629-635.

18-Antunes, W. M., Luna, A.S., Henriques, C.A., and Costa, A.C.A. (2003). "An evaluation of copper biosorption by a brown seaweed under optimized conditions." *Electronic Journal of Biotechnology*, 6 (3), 254-261.

19- APHA .(1995). *Standard method for the Examination of water and waste water*, 20 th Ed, Washington, USA.

20- AL-Qodah, Z. (2006). "Biosorption of heavy metal ions from aqueous solution by activated sludge." *Desalination*, 196 (1-3), 164-176.

۲۱- دیهول، ف. (۱۳۷۰). "بررسی و حذف دترجنت‌ها از پسابهای صنعت نساجی به‌طریق جذب." پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

۲۲- اسماعیلی، ع. (۱۳۸۱). "جذب فلزات سنگین به‌وسیله کانی‌های معدنی و ضایعات صنعتی." پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

۲۳- فولادی فرد، ر.، عظیمی، ع.ا.، نبی بیدهندی، غ.ر. (۱۳۸۷)." بررسی جذب فلز کادمیم توسط پودر لجن دفعی فاضلاب شهری در راکتور ناپیوسته." *م.علمی- پژوهشی آب و فاضلاب*، ۶۷، ۲-۹.