Archive of SID

بررسی میزان حذف کادمیوم از محلول‌های آبی با استفاده از کربن فعال بیولوژیکی (BAC)

رمضانعلي ديانتي تيلكي(Ph.D.)* سيد محمود شريعت(Ph.D.) **

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی منابع آب به فلزات سنگین یکی از معضلات زیست محیطی در سطح جهانی است. به‌دلیل بالا بودن سطح سمیت کادمیوم و تمایل آن به تجمع در بافت‌های زنده، حذف آن از آب به توجهات خاص نیاز دارد. درباره تعیین میزان حذف غلظت‌های کم کادمیوم(موجود در منابع آب آلوده شده) به‌وسیله کربن فعال بیولوژیکی(BAC)، مطالعه ای یافت نشده است. هدف از این تحقیق، تعیین میزان جذب کادمیوم (۰/۲ تا ۱ میلی‌گرم بر لیتر) به‌وسیلهBAC در شرایط مختلف از نظر دما و pH بوده است.

مواد و روش‌ها: آزمایش‌های تعیین ایزوترم ها به‌صورت ناپیوسته(Batch) در غلظت‌های مختلفی از کربن فعال بیولوژیکی و کادمیوم با تغییر pH و دما انجام شد. آزمایش‌های مربوط به تعیین کارآیی ستون BAC با عبور پیوسته آب حاوی کادمیوم از ستون انجام گرفت. اندازه‌گیری کادمیوم مطابق روش استاندارد به‌وسیله دستگاه جذب اتمی انجام پذیرفت. زمان به تعادل رسیدن جذب روی BAC ، ایزوترم های جذب و میزان جذب کادمیوم روی BAC در pH و دماهای مختلف، و همچنین کارآیی ستون BAC درحذف کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت.

یافته ها :. زمان به تعادل رسیدن جذب، ۱/۵ ساعت به‌دست آمد. جذب کادمیوم به‌وسیله کربن فعال مورد مطالعه با معادله فروندلیچ، تطابق بیش‌تری نشان داد. میزان جذب کادمیوم به‌وسیله کربن فعال بیولوژیکی، بیش از دو برابر کربن فعال ساده به‌دست آمد. اثر افزایش دما بر افزایش میزان جذب کادمیوم به‌وسیله کربن فعال فاقد بیوفیلم (ساده) مشهودتر است. اثر تغییر pH بر میزان حذف کادمیوم به‌وسیله کربن فعال ساده، بیش‌تر از کربن فعال بیولوژیکی است.

استنتاج : با ایجاد پوشش باکتریایی روی کربن فعال می‌توان نسبت به حذف همزمان مواد آلی و فلزات سنگین از محیط‌های آبی اقدام نمود.

واژه هاي كليدي: کربن فعال بیولوژیکی، جذب سطحی، کادمیوم

مقدمه

وجود فلزات سنگین سمی در آب‌های سطحی و زیرزمینی موجب به خطر افتادن سلامتی موجودات زنده شده است.کادمیوم یکی از فلزات سنگین است که سطح سمیت بالایی دارد. از کادمیوم در ساخت باطری‌های

* دکترای بهداشت محیط، عضو هیأت علمی (استادیار) دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی مازندران
✉ ساری: خیابان وصال شیرازی- دانشکده بهداشت

** عضو هیأت علمی (استاد) دانشگاه علوم پزشکی تهران

تاریخ دریافت : ۸۲/۱۰/۷ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۸۳/۳/۲۰ تاریخ تصویب : ۸۳/۵/۲٤

www.SID.ir

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

Archive of SID

کادمیوم- نیکل، آلیاژهای صنعتی، پی‌گمان‌های رنگی غیر آلی، سلول‌های فوتوالکتریک، لامپ‌های تلویزیون، روکش کابل‌های الکتریکی، پلاستیک‌های ویژه نظیر تفلون، مواد مقاوم‌کننده پلاستیک‌ها، کاتالیزورهای شیمیایی، جوهر ماشین‌های فتوکپی، قارچ‌کش‌ها، جواهرسازی، صنعت آب فلزکاری و موارد متعدد دیگر استفاده می‌شود(۱). کادمیوم به‌طور طبیعی در نفت خام و در نتیجه در مشتقات آن نظیر مازوت، گازوییل و بنزین وجود دارد. از اگزوز اتوموبیل‌ها کادمیوم وارد هوا می‌شودکه به‌دلیل سنگینی درسطح خیابان‌ها و بزرگراه‌ها و خاک‌های اطراف تجمع می یابد. رواناب‌های جاری شده از سطح خیابان‌ها پس از بارندگی ها حاوی مقادیر متنابهی کادمیوم هستند(۲). حداکثر غلظت مجاز کادمیوم در آب شرب، ۰/۰۰۵ mg/L است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که آب‌های سطحی یا زیرزمینی در بعضی از مناطق اطراف منابع آلاینده ، در مقادیر بیش از حد مجاز به کادمیوم آلوده می باشند(۳). کادمیوم یک عنصر سمی ذخیره شونده بخصوص در کلیه‌ها است، با پروتئین‌های گوگرد دار واکنش انجام می‌دهد و موجب بروز اختلالاتی در سیستم عصبی، پانکراس، گردش خون، تغییرات استخوانی و کم خونی می گردد(٤).

روش‌های مختلفی برای حذف کادمیوم از فاضلاب‌ها و محیط های آبی مورد بررسی قرار گرفته است. رسوب‌دهی شیمیایی برای غلظت های کم‌تر از ۵ mg/L از این فلز، کم اثر و گران است(۵). روش‌های غشایی مانند اسمز معکوس، الکترودیالیز و اولترا فیلتراسیون به‌علت قیمت بالا، فرآیندهای پیچیده و بازده پایین، برای حذف کادمیوم ازمحیط‌های آبی مناسب نیستند(٦). جذب به‌وسیله توده های بیولوژیکی از روش‌های حذف کادمیوم محسوب می شود(۷). در منابع آب آلوده به مقادیر اندک فلزات سنگین (به‌خصوص منابع آب‌های سطحی) مواد آلی موجود است که حذف آنها نیز مورد توجه قرار دارد و کربن فعال قادر است همزمان هم موادآلی و هم فلزات سنگین را جذب نماید. به‌دلیل این‌که بخشی از مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی است، روی دانه‌های کربن فعال، لایه بیولوژیکی تشکیل می شود و کربن فعال بیولوژیکی به‌وجود می آید. لایه بیولوژیکی خود قادر است علاوه بر مواد آلی، فلزات سنگین را نیز جذب نماید. بدین لحاظ کربن فعال بیولوژیکی می‌تواند با بازده بالا علاوه بر حذف مواد آلی در حذف فلزات سنگین نیز موثر باشد(۸).

استفاده از کربن فعال بیولوژیکی در دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. مقالاتی در باره استفاده از کربن فعال بیولوژیکی در تصفیه آب و فاضلاب وجود دارد(۹-۱۳). تحقیقات اندکی در باره حذف کادمیوم با استفاده از کربن فعال بیولوژیکی صورت گرفته است که در آنها حذف کادمیوم در غلظت‌های بیش از ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر مورد بررسی قرار گرفته اند(١٤-١٧). تا آنجا که ما اطلاع داریم درباره حذف کادمیوم در غلظت های کم‌تر از ۵ میلی‌گرم بر لیتر با استفاده از کربن فعال بیولوژیکی، سابقه تحقیقی وجود ندارد.

با توجه به اهمیت روز افزون آلودگی منابع آب به فلزات سنگین، و پیش بینی بازده بالای سیستم کربن فعال بیولوژیکی در حذف همزمان مواد آلی و فلزات سنگین(۸) و عدم انجام تحقیق در غلظت های کم کادمیوم، این تحقیق صورت گرفت. در این تحقیق تعیین ایزوترم های جذب کادمیوم به‌وسیله کربن فعال بیولوژیکی در شرایط مختلف از نظر pH و دما و مقایسه کربن فعال بیولوژیکی با کربن فعال ساده در حذف کادمیوم و همچنین تعیین کارآیی ستون کربن فعال بیولوژیکی در حذف کادمیوم از محلول آبی مورد توجه قرار گرفت.

www.SID.ir
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

Archive of SID

مواد وروش ها

آماده سازی ستون: مشخصات کربن فعال مورد استفاده عبارت است از اندازه: مش ۱۴×۱۲ ، رطوبت: ۷/۴۲ درصد ، دانسیته : ۰/۴۲ گرم بر میلی لیتر، عدد ید: ۶۶۰ ، خاکستر : ۲۹ درصد ، کل حجم منفذ: ۰/۰۸ میلی لیتر بر گرم ، عدد ملاس: ۲۳۱/۴ و ۸/ ۶=pH . در این تحقیق استوانه ای از جنس اکریلیک شفاف به قطر ۱۴ سانتی متر و ارتفاع مفید (حاوی GAC) برابر ۵۲ سانتی متـر مجهز به دیفیوزر (پخشان) جهت هوا دهی بستر ، به عنوان راکتور جهت تشکیل بیو فیلم چسبیده مورد استفاده قرار گرفت. جریان آب عبوری از ستون به‌صورت جریان رو به بالا (Up flow) بود. به منظور تنظیم برونده آب عبوری از ستون، از پمپ تزریق استفاده شد. جهت جلوگیری از خروج دانه های کربن فعال از ستون، در قسمت خروجی نازل هایی قرار داده شد. به منظور توزیع یکنواخت جریان آب در ستون، در قسمت ورودی، نازل ها و بافل قرارگرفت.از استات سدیم (CH_3COONa) به میزان ۲ گرم بر لیتر به عنوان منبع کربن و نیترات آمونیوم (NH_4NO_3) و پتاسیم دی هیدروژن فسفات(KH_2PO_4) هر کدام به میزان ۰/۵ گرم بر لیتر و کلرید کلسیم ($CaCl_2$) و سولفات منیزیم ($MgSO_4$) هر کدام به میزان ۰/۲ گرم بر لیتر، به عنوان مواد مغذی جهت رشد باکتری‌ها و تشکیل بیوفیلم استفاده شد.

به منظور تشکیل لایه بیولوژیکی روی بستر، ابتدا دانه های کربن فعال با مقداری توده باکتریایی(به‌عنوان بذر) آغشته شدند و در داخل ستون قرار گرفتند سپس به ستون آب حاوی مواد مغذی فوق اضافه شد و به مدت ۴۸ ساعت هوادهی صورت گرفت. سپس با عبور آب معمولی از ستون، باقیمانده محیط کشت از داخل ستون خارج وبدین ترتیب ستون حاوی بیوفیلم چسبیده آماده انجام آزمایش‌های شد. به‌دلیل این‌که در صورت استفاده از کربن فعال بیولوژیکی در حذف فلزات سنگین از فاضلاب‌ها در یک سیستم تصفیه فاضلاب یا در تصفیه خانه‌های آب، عملا طیف وسیعی از گونه‌های باکتریایی روی کربن فعال رشد می کنند، به منظور مشابهت بیش‌تر سیستم مورد مطالعه با شرایط واقعی، از یک‌گونه بخصوص باکتری استفاده نشد و بذر باکتریایی از یک سیستم واقعی تصفیه خانه اخذ گردید. آب حاوی کادمیوم به غلظت ۰/۵ میلی گرم بر لیتر با زمان تماس های ۱۵ و ۳۰ دقیقه به‌طور جداگانه از ستون BAC عبور داده شد. آب خروجی از ستون در فواصل زمانی مختلف مورد نمونه‌برداری قرار می‌گرفت. ابتدا نمونه به‌وسیله فیلتر فایبرگلاس صاف می‌گردید و سپس با اضافه کردن اسید سولفوریک اسیدی میشد و تا قبل از اندازه‌گیری در یخچال نگهداری می‌گردید.

آزمایش‌های منقطع (Batch). آزمایش‌های مربوط به تعیین ایزوترم ها و عوامل موثر بر آنها به‌صورت ناپیوسته انجام گرفت. به منظور تعیین میزان بیوفیلم چسبیده روی کربن فعال در ستون BAC، مقداری از کربن فعال دارای بیوفیلم (مرطوب) در داخل Oven با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت قرار گرفت و سپس وزن آن تعیین شد. پس از آن از طریق شسن‌و شو با آب و اسید کلرید ریک ۰/۱ نرمال بیو فیلم چسبیده از روی کربن فعال جدا شد،کربن فعال مورد آزمایش پس از خشک شدن در دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۱ ساعت دوباره توزین شد. اختلاف وزن به‌دست آمده، به بیوفیلم چسبیده روی کربن فعال نسبت داده شد. وزن بیوفیلم‌چسبیده (به‌صورت وزن خشک) ۳۲/۷۴ میلی‌گرم به ازاء هر گرم کربن فعال به‌دست آمد.

برای ساخت محلول های کادمیوم از سولفات کادمیوم به فرمول 3 Cd (SO4)2.8H2O استفاده گردید و $NaOH, HNO_3$ ۰/۰۱ نرمال جهت تنظیم pH محلول‌ها

www.SID.ir

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

Archive of SID

استفاده شد. از آن‌جا که محلول‌ها به‌وسیله آب مقطر فاقد یون، ساخته شد به منظور ایجاد شرایط مشابه با نمونه‌های آب واقعی، در محلول های ساخته شده حاوی کادمیوم با اضافه کردن NaCl غلظت ۰/۰۱ مولار از NaCl ایجاد گردید که این امر محلول های ساخته شده حاوی کادمیوم را از نظر قدرت یونی تقریباً مشابه آب واقعی می سازد. جهت انجام آزمایش‌های مربوط‌به تعیین ایزوترم ها، مقادیر ۰/۱ ، ۰/۲ ، ۰/۳ و ۰/٤ گرم (وزن تر) معادل ۰/۰۳۳ ، ۰/۰٦٦ ، ۰/۱ و ۰/۱۳۳گرم (وزن خشک) از کربن فعال دارای بیوفیلم چسبیده از داخل ستون (قبل از عبور محلول کادمیوم از آن) اخذ و به داخل‌ارلن هایی محتوی ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۰/۲، ۰/۵ و ۱/۲ میلی گرم بر لیتر کادمیوم اضافه شد و در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد با سرعت ۳۰ دور در دقیقه به مدت زمان های متفاوتی از ۱۵ دقیقه تا ٤ ساعت تکان داده شدند. به منظور تعیین زمان به تعادل رسیدن جذب (عدم تغییرغلظت کادمیوم با گذشت زمان)، پس از زمان تماس های متفاوت میزان کادمیوم باقی مانده در محلول مورد اندازه گیری قرار می‌گرفت. پس از آزمایش‌های متعدد، زمان به تعادل رسیدن جذب کادمیوم روی کربن فعال دارای بیوفیلم چسبیده، حدود ۱/۵ ساعت به‌دست آمد. برای حصول اطمینان از دست‌یابی به تعادل جذب در آزمایش‌های تعیین ایزوترم ها، ارلن‌ها به مدت٤ ساعت در شیکر تکان داده شدند. سپس مقداری از محلول موجود در آن به‌وسیله فیلتر فایبرگلاس(GF/A) صاف می‌گردید و با استفاده از اسیدسولفوریک، نمونه‌های صاف شده تا pH کم‌تر از ۲ اسیدی می‌گردید و میزان کادمیوم آن مورد اندازه گیری قرار می‌گرفت. آزمایش‌های پیوسته با استفاده از ستون حاوی کربن فعال دارای بیوفیلم چسبیده انجام شد. برای هر مورد، آزمایش سه بار تکرار شد و میانگین سه عدد به‌دست آمده منظور گردید. در همه موارد انحراف معیار سه عدد کمتر از ۰/۰۲۵ بوده است. جمعا ۱۰۳ نمونه(بدون احتساب سه بار تکرار برای هر نمونه) به منظور تعیین ایزوترم‌ها در دماها و pH های مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. برای هر pH، معادله رگرسیون برای ۱۷ نمونه مورد آزمایش به‌دست آمده است. تعیین ایزوترم‌ها مطابق روش ارائه شده در مقاله Scott و Karanjkar (۸) با استفاده از میانگین داده های حاصل از تکرار سه‌بار آزمایش برای هر نمونه انجام شده است.

اندازه‌گیری کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Chem Tech Analytical ALPHA 4 شعله‌ای با سوخت هوا- استیلن در طول موج ۲۲۸/۸ نانومتر انجام پذیرفت.

یافته ها

نتایج آزمایش‌های منقطع

در جدول شماره۱ مقادیر ضریب تعیین(R^2) مربوط به معادلات فروندلیچ و لانگ موئیر برای جذب کادمیوم به‌وسیله کربن فعال بیولوژیکی در pH های ۵، ۷ و ۸ و دماهای ۵، ۱۵ و ۲٤ درجه سانتیگراد آورده شده است.

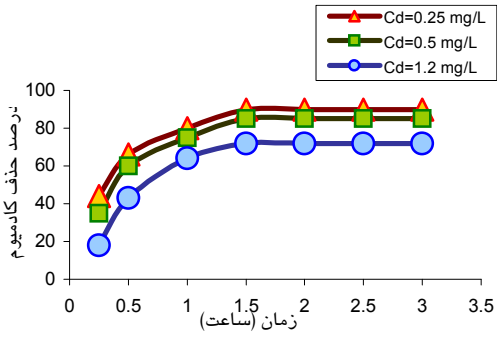
جدول شماره۱ : مقایسه مقادیر R^2 (ضریب‌تعیین) مربوط به معادلات لانگموئیر و فروندلیچ برای جذب کادمیوم به‌وسیله کربن فعال بیولوژیکی در pH ها و دما های مختلف

Log q=log K+1/n Log Ce Log Vs Log Ce			Ce/q=(1/Q*b)+(1/Q)ce Ce/q Vs Ce		
t	PH	R^2	t	PH	R^2
۲۷	۵	۰/۹۲۵۱	۲٤	۵	۰/۵۳۸٦
۲۷	۷	۰/۹۳۳۸	۲٤	۷	۰/۵۱۲۱
۲۷	۸	۰/۸۲٦۷	۲٤	۸	۰/۵۲۸۷
۵	۷	۰/۷۹۹۸	۵	۷	۰/٦۳۱۱
۱۵	۷	۰/۹۱٦۹	۱۵	۷	۰/۵۵۰۳
		۰/۸۷۸٤			X =۰/۵۵۲۱

www.SID.ir
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

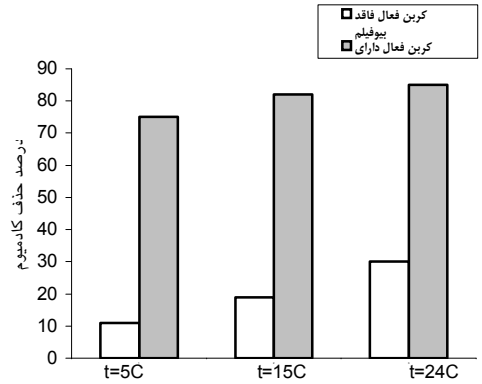
Archive of SID

تغییرات میزان حذف کادمیوم برحسب زمان بوسیله کربن فعال دارای بیوفیلم در تصویر شماره ۱ نشان داده شده است. تعادل جذب پس ۱/۵ ساعت برقرار گردید. با افزایش غلظت کادمیوم، میزان جذب آن به وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم کاهش یافت.



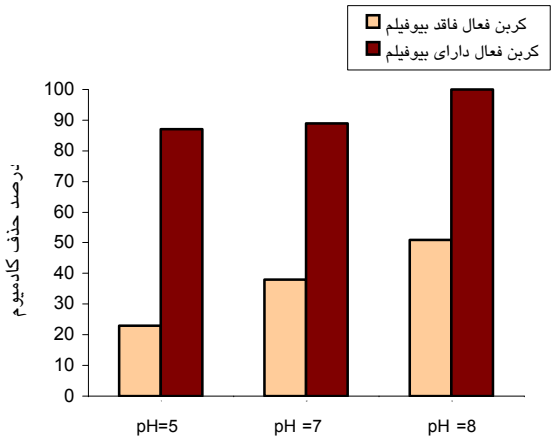
نمودار شماره ۱ : تغییرات میزان حذف غلظت های مختلف کادمیوم برحسب زمان به‌وسیله کربن

تغییرات‌میزان حذف‌کادمیوم برحسب زمان به‌وسیله فعال دارای بیوفیلم در دمای ۲٤ درجه سانتیگراد و pH برابر ۷ در نمودار شماره ۲ میزان حذف ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم به‌وسیله کربن فعال فاقد بیوفیلم و کربن فعال دارای بیوفیلم در دماهای ۵ ، ۱۵ و ۲۵ درجه سانتیگراد با یکدیگر مقایسه شده است.



نمودار شماره ۲ : مقایسه میزان حذف ۰/۵ میلی گرم بر لیتر کادمیوم به‌وسیله مقادیر مساوی کربن فعال دارای بیوفیلم و فاقد بیوفیلم در دماهای مختلف و pH=7

میزان جذب کادمیوم به‌وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم بیش از دو برابر بیش‌تر از کربن فعال فاقد بیوفیلم است. اثر افزایش دما بر افزایش میزان جذب کادمیوم به‌وسیله کربن فعال فاقد بیوفیلم مشهودتر است. ا ثر تغییر pH بر میزان حذف کادمیوم به‌وسیله کربن فعال فاقد بیوفیلم بیش‌تر از کربن فعال دارای بیوفیلم است. تغییر pH از حالت خنثی به حالت اسیدی تغییری در میزان جذب کادمیوم بوسیله کربن فعال دارای بیوفیلم ایجاد نکرد و افزایش pH از ۷ به ۸ حدود ۱۰ درصد میزان جذب کادمیوم را بهبود بخشید. در تصویر شماره ۳ این موضوع نشان داده شده است.



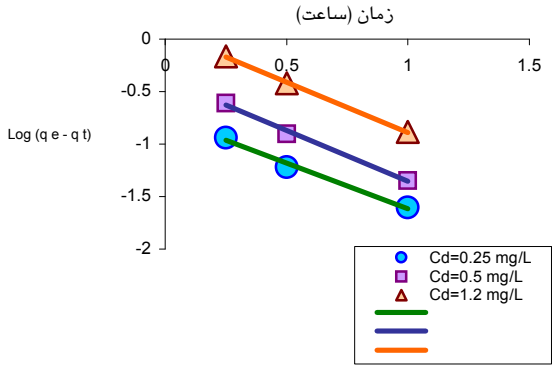
www.SID.ir

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

Archive of SID

نمودار شماره ۳ : مقایسه میزان حذف ۰/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم به‌وسیله مقادیر مساوی کربن فعال فاقد بیوفیلم و کربن فعال دارای بیوفیلم در pH های مختلف و دمای ۲٤ درجه سانتی گراد

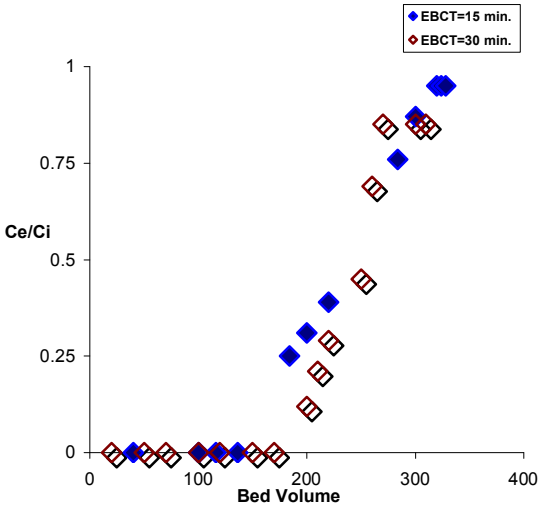
رسم معادله Lagergren برای جذب ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱/۲ میلی گرم بر لیتر کادمیوم به‌وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم در نمودار ٤ نشان داده شده است. ضرایب جذب (K_{ad}) برای ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱/۲ میلی گرم بر لیتر کادمیوم به‌وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم به ترتیب ۱/۹۹۵ ، ۲/۲۲۸ و ۲/۱۹۹ به‌دست آمد . جذب کادمیوم به‌وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم از لحاظ سینتیکی از معادله سینتیکی درجهٔ اول تبعیت نمود.



نمودار شماره ٤: رسم معادله Lagergren برای جذب غلظت های مختلف کادمیوم به‌وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم

نتایج آزمایش‌های پیوسته روی ستون BAC:

منحنی‌های نقطه شکست مربوط به عبور آب حاوی ۰/۵ میلی گرم بر لیتر کادمیوم از روی ستون کربن فعال دارای بیوفیلم چسبیده در زمان تماس (EBCT) های ۱۵ و ۳۰ دقیقه در شکل ۵ با یکدیگر مقایسه شده است.



نمودار شماره ۵ : مقایسه منحنی های نقطه شکست مربوط به ۰/۵ میلی گرم بر لیتر کادمیوم به‌وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم چسبیده در زمان تماس های ۱۵ و ۳۰ دقیقه

بحث

میانگین ضریب تعیین (R^2) برای معادله فروندلیچ ۰/۸۷۸٤ و برای معادله لانگ موئیر ۰/۵۵۲۱ به‌دست آمده است. این امر مبیّن این موضوع است که جذب کادمیوم به‌وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم از معادله فروندلیچ، بیش‌تر تبعیت می کند.

J.A.scott و A.M.karanjkar (۱۹۹۵) گزارش نموده اند که جذب ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم به‌وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم (با R^2 = ۰/۹۵) از معادله فروندولیچ تبعیت می‌کند (۱٤).

نمودار تغییرات میزان حذف غلظت های ۰/۰،۵/۲۵ و ۱/۲ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم بر حسب زمان به‌وسیله

www.SID.ir
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

Archive of SID

کربن فعال دارای بیوفیلم نشان می دهد که تعادل جذب پس از ۱/۵ ساعت برقرار می شود و میزان جذب در دقایق اولیه زیاد است که مبیّن جذب فیزیکی کادمیوم روی کربن فعال دارای بیوفیلم است. کوتاه‌تر بودن زمان به تعادل رسیدن جذب در مورد کربن فعال دارای بیوفیلم نسبت به کربن فعال فاقد بیوفیلم، با این فرضیه که وجود لایه بیوفیلم روی کربن فعال به افزایش سرعت جذب کادمیوم روی کربن فعال از طریق افزایش سرعت نفوذ لایه‌ای (film diffusion) کمک می‌کند، توجیه می‌شود. در غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۵و۱/۲ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم، زمان به تعادل رسیدن جذب تغییری نشان نداد.

J.A.scott و A.M.karanjkar(۱۹۹۲) زمان به تعادل رسیدن جذب کادمیوم روی کربن فعال دارای بیوفیلم را حدود ۲ ساعت به‌دست آورده‌اند. آنها همچنین مشاهده نموده‌اند که در دقایق اولیه میزان جذب کادمیوم به وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم زیاد است که مبیّن جذب فیزیکی می‌باشد. آنها همچنین زمان به تعادل رسیدن جذب کادمیوم در غلظت‌های ۲۵ ، ۵۰ ، ۱۰۰ ، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را بررسی و نتیجه گرفتند که با افزایش غلظت کادمیوم، زمان به تعادل رسیدن جذب کاهش می‌یابد (۱۵).

مقایسه اثر تغییر دما بر میزان جذب کادمیوم به‌وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم با کربن فعال فاقد بیوفیلم در نمودار ۲ نشان داده شده است. با افزایش دما، در میزان جذب کادمیوم به‌وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم و فاقد بیوفیلم اندکی افزایش مشاهده می‌شود که مبیّن جذب فیزیکی کادمیوم روی آنها است. در واقع کادمیوم به‌وسیله بیوفیلم موجود روی کربن فعال نیز به‌صورت فیزیکی جذب می‌شود و جذب متابولیک (که به دما وابستگی بیش‌تری دارد) اتفاق نمی افتد.

یک تحقیق نشان می‌دهد که تغییر دما در محدوده ۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد تغییر چندانی در میزان جذب ۲۵ میلی گرم بر لیتر کادمیوم به‌وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم چسبیده ایجاد نمی‌کند و با افزایش دما فقط اندکی افزایش در میزان جذب کادمیوم مشاهده می‌شود(۱۶).

کاهش pH از ۷ به ۵ تغییر چندانی در میزان جذب کادمیوم روی کربن فعال دارای بیوفیلم چسبیده ایجاد نکرد. و افزایش pH از ۷ به ۸ فقط حدود ۱۰ درصد میزان جذب کادمیوم را افزایش داد. علت افزایش جذب کادمیوم با افزایش pH محلول، احتمالاً افزایش بار منفی سطحی روی کربن فعال دارای بیوفیلم به‌دلیل افزایش غلظت OH^- محیط می باشد.

Scott و karanjkar (۱۹۹۲) گزارش نمودند که تغییر pH در محدودهٔ ٤ تا ۷ تغییری در میزان جذب کادمیوم (۲۵ میلی گرم بر لیتر) روی کربن فعال دارای بیوفیلم ایجاد نمی‌کند و در PHهای کم‌تر از ۳/۵ با کاهش pH میزان جذب کادمیوم به‌شدت کاهش می‌یابد که علت این امر جذب بار مثبت (H^+ روی سطح کربن فعال بیولوژیکی به‌واسطه کاهش pH عنوان شده است(۱۷).

معادله Lagergren که مربوط به سینتیک مرتبه اول است به صورت زیر نوشته می شود:

$$\text{Log}\,(q_e - q_t) = \text{Log}\, q_e - (K_{ad} \times t / 2.03)$$

برای جذب کادمیوم به‌وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم، $\text{Log}(q_e-q_t)$ در مقابل t رسم شد و با ضریب رگرسیون (R^2) برابر ۰/۹۹ خط راست ایجاد شد که مبیّن این موضوع است که جذب کادمیوم به‌وسیله کربن فعال دارای بیوفیلم چسبیده، از سینتیک مرتبه اوّل تبعیت می‌کند. ضرایب جذب (K_{ad}) برای ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱/۲ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم روی کربن فعال دارای بیوفیلم به ترتیب ۱/۹۹۵، ۲/۲۲۸ و ۲/۱۹۹ به‌دست آمد که حدود ۲ برابر ضرایب جذب کادمیوم روی کربن فعال فاقد بیوفیلم است. Scott و Karanjkar (۱۹۹۵) مقادیر ضرایب جذب (Ka_d) کادمیوم (۲۵ mg/l) به‌وسیله کربن

www.SID.ir

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

Archive of SID

فعال دارای بیوفیلم چسبیده ۲ تا ۳ برابر بزرگ‌تر از ضرایب جذب مربوط به کربن فعال فاقد بیوفیلم به‌دست آوردند(۱٤).

منحنی نقطه شکست مربوط به عبور آب حاوی ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم از ستون کربن فعال دارای بیوفیلم چسبیده نشان می‌دهد که با زمان ماند ۱۵ دقیقه، نقطه شکست پس از عبور آب به میزان ۱٤۰ برابر حجم بستر (BV) و با زمان ماند ۳۰ دقیقه نقطه شکست پس از ۱۷۰ برابر BV ایجاد می شود.

Dennis W.Darnall (۲۰۰۰) در گزارش منتشر شده توسط EPA اعلام نمود در صورتی که جاذبی بتواند تا رسیدن به نقطه شکست، حداقل ۱۰۰ برابر حجم بستر خالی (BV) آب را تصفیه کند کاربرد آن اقتصادی است(۱۸). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد ستون کربن فعال دارای بیوفیلم چسبیده برای حذف غلظت‌های کم فلزات سنگین از منابع آب آلوده شده امکان‌پذیر است.

فهرست منابع

1. Xuan Zhao, Wolfgang H. Holl, Guichun Yun, Elimination of Cadmium contamination from drinking water, ***Water Research;*** 2002; 36: 851- 858
2. Suruchi Gupta, A study of Cadmium Concentration, Its Transport and Distribution with Distance in the Jhalana Dungari Area, Jaipur, ***Asian Journal of Chemistry,*** 2001, 13(3): 1192-1198.
3. Chapman Debora, **Water Quality Assessments**, Second Edition, London, E & FN Spon, 1996: 449- 451
4. EI-Helow, E R; Sabry, S A; Amer, R M, Cadmium biosorption by a cadmium resistant strain of bacillus thuringiensis, ***Biometals***, 2000; 13(4): 273-280.
5. J. Butter, The removal and recovery of Cadmium from dilute aqueous solutions by biosorption and electrolysis at laboratory scale, ***Wat. Res***, 1998; 32(2): 400-406.
6. Reed Brian E. Identification of Removal Mechanisms for Lead in Granular Activated Carbon (GAC) Columns, ***Separation Science and Technology***, 1995; 30(1): 101-116.
7. Bonnet, J .L, Effects of Cadmium on the performance and microbiology of laboratory-scale lagoons treating domestic sewage, ***Chemosphere***, 1999;38(13):3155-3168.
8. Suzuki, Yoshitake, Biological Activated Carbon treatment of effluent water from wastewater treatment of plating industries, ***Separation Technology*** 1996; 6: 197-153.
9. Walker G.M, Weatherley L.R. Biological activated carbon treatment of industrial wastewater in stirred tank reactor, ***Chemical Engineering Journal***, 1999; 75: 201-206.
10. Van der Hoek, J.P, Hofman J.A.M.H, Graveland A. The use of biological activated carbon filtration for the removal of natural organic matter and

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

www.SID.ir

Archive of SID

organic micropollutants from water, ***Wat. Sci., Tech***., 1999; 9: 257-269.

11. Keisuke Hanaki, Toshiaki Saito and Tomonori Matsuo, Anaerobic treatment utilizing the function of activated carbon, ***Wat. Sci., Tech***., 1997; 35(8)193-201.
12. Woo Hang Kim, Wataru Nishijima, Eiji Shoto and Misumasa Okada, Competitive removal of dissolved organic carbon by adsorption and biodegradation on biological activated carbon, ***Wat Sci., Tech***. 1997; 35(7): 197-153.
13. Wataru Nishijima, Woo Hang Kim, Eiji Shoto and Misumasa Okada, The performance of an Ozonation-Bilogical Activated Carbon process under long term operation, ***Wat. Sci. Tech***., 1997; 38(6): 163-169.
14. J. A. Scott, A. M. Karanjkar, Adsorption Isotherms and Diffusion Coefficients for Metals Biosorbed by Biofilm Coated Granular Activated Carbon,***Biotechnology Letters***, 1992; 17(11): 1267737-1270.
15. J.A. Scott and A.M. Karanjkar, Repeated Cadmium Biosorption by Regenerated Entrobacter Aerogenes Biofilm Attached to Activated Carbon, ***Biotechnology Letters***, 1992; 14(8): 737-740.
16. A. Scott, A. M. Karanjkar, D. L. Rowe, Biofilm Covered Granular Activated Carbon for Decontamination of Streams Containing Heavy Metals and Organic Chemicals, ***Minerals Engineering***, 1995; 8(1): 221-230.
17. J.A. Scott, A.M. Karanjkar, Immobilized Biofilms on Granular Activated Carbon for Removal and Accumulation of Heavy Metals from Contaminated Streams, ***Wat. Sci. Tech***. 1997; 38(9): 197-204.
18. Dennis W. Darnall, ***EPA Report***, 540/5-90/005, CR: 815318010, 2000.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

www.SID.ir