Archive of SID

بررسی میزان حذف کادمیوم از آب به وسیله توده باکتریایی در فیلترسیلیسی بیولوژیکی

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

چکیده

سابقه و هدف : بررسی ها نشان می دهد که آب‌های سطحی یا زیرزمینی در بعضی از مناطق اطراف منابع آلاینده در مقادیر بیش‌تر از حد مجاز شرب، به کادمیوم آلوده می باشند. در مورد جذب بیولوژیکی کادمیوم در غلظت های زیاد (موجود در فاضلابهای صنعتی) با استفاده از توده باکتریایی، گزارش‌های متعددی وجود دارد. اما در باره حذف غلظت‌های کم کادمیوم (موجود در منابع آب آلوده شده) به روش مذکور، تحقیقات اندکی صورت گرفته است. هدف از این تحقیق، تعیین خطوط منحنی (ایزوترم‌های) جذب کادمیوم (در محدوده غلظت های ۰/۲ تا ۵ میلیگرم بر لیتر) به وسیله توده باکتریایی، تعیین اثرات pH و غلظت توده روی خطوط منحنی جذب و همچنین تعیین میزان کارآیی ستون حاوی بستر سیلیس دارای توده چسبیده، در حذف کادمیوم از آب بوده است.

مواد و روش ها : خطوط منحنی جذب کادمیوم به وسیله توده باکتریایی در pH های مختلف مطابق روش ASTM تعیین شد. اثر غلظت توده بر میزان جذب کادمیوم روی واحد وزن توده (q) ، میزان جذب کادمیوم به وسیله توده تازه و غیر تازه، و همچنین میزان واجذب کادمیوم از توده بر اثر تماس با آب مقطر تعیین گردید. منحنی های نقطه شکست مربوط به عبور آب حاوی کادمیوم برای غلظت ۰/۵ میلی گرم بر لیتر در زمان تماس‌های بستر خالی (EBCT) برابر ۱۵ و ۳۰ دقیقه رسم گردید.

یافته ها : با افزایش غلظت اولیه کادمیوم، میزان جذب آن روی واحد وزن توده (q) زیاد، اما بازده حذف، کاهش یافت. جذب کادمیوم روی توده باکتریایی از معادله سینتیک درجه اول تبعیت کرد. با افزایش غلظت توده از میزان جذب کادمیوم روی واحد وزن توده (q) ، کاسته شد. افزایش pH موجب افزایش جذب کادمیوم شد. میزان جذب کادمیوم به وسیله توده تازه و غیر تازه تقریبا با هم برابر بود. میزان جذب کادمیوم از توده بر اثر تماس با آب مقطر، ۱۶ درصد به دست آمد. برای غلظت ۰/۵ میلی گرم بر لیتر کادمیوم ، در زمان ماند های ۱۵و ۳۰ دقیقه، نقاط شکست به ترتیب پس از عبور آب به میزان ۴۰ و ۸۵ برابر حجم بستر خالی اتفاق افتاد.

استنتاج : جذب‌کادمیوم به‌وسیله توده باکتریایی غالباً به‌صورت فیزیکی است و از سینتیک درجه اول تبعیت می‌کند.

واژه هاي كليدي : کادمیوم، بیوماس باکتریایی، ایزوترم

* دکترای بهداشت محیط استادیار دانشگاه علوم پزشکی مازندران ✉ ساری: وصال شیرازی- دانشکده بهداشت

** استاد بهداشت محیط- دانشگاه علوم پزشکی تهران

تاریخ دریافت:۸۲/۲/۱۴ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات:۸۲/۵/۱ تاریخ تصویب:۸۲/۶/۱۶

www.SID.ir

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-12-09]

Archive of SID

مقدمه

کادمیوم یکی از فلزات سنگین سمّی است که از راه‌های مختلف نظیر پساب‌های صنعتی، خانگی، کشاورزی و مکان‌های دفن غیربهداشتی مواد زاید شهری و صنعتی وارد منابع آب می شود. حداکثر غلظت مجاز کادمیوم در پساب‌های صنعتی تصفیه شده قابل تخلیه به آب‌های پذیرنده، ۰/۲۵میلی‌گرم بر لیتر و حداکثرغلظت مجازکادمیوم درآب‌شرب ۰/۰۰۵ mg/L است. بررسی‌ها نشان می دهد که آب‌های سطحی یا زیرزمینی در بعضی از مناطق اطراف منابع آلاینده در مقادیر بیش‌تر از حد مجاز شرب، به کادمیوم آلوده می باشد(۱).

روش‌های مختلفی برای حذف کادمیوم از آب و فاضلاب‌وجود داردکه عبارتند از روش‌های رسوب‌دهی با استفاده از هیدروکسید یا سولفید، اسمز معکوس،تبادل یونی، روش‌های بیولوژیکی و جذب سطحی روی مواد جاذب. انتخاب نوع روش به عواملی نظیر میزان غلظت کادمیوم در فاضلاب یا آب تصفیه نشده، درجه تصفیه مورد نیاز و مسائل اقتصادی بستگی دارد(۲). در صورتی که غلظت کادمیوم کم‌تر از ۵ میلی‌گرم بر لیتر باشد، حذف آن از طریق رسوب دادن به صورت رسوب سولفید یا هیدروکسید، مشکل و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست(۳).

یکی از مواد جاذبی که می‌تواند کادمیوم را جذب نماید، توده باکتریایی است. درباره حذف کادمیوم در غلظت‌های زیاد (موجود در فاضلاب‌ها) به وسیله توده باکتریایی، گزارش‌های متعددی وجود دارد(٤). با توجه به جست و جوهای زیاد، درباره حذف غلظت‌های کم کادمیوم (موجود در منابع آب آلوده شده) با استفاده از توده باکتریایی،گزارش‌های کمی یافت شده است(۵).

در این تحقیق حذف کادمیوم از آب با استفاده از فیلتر سیلیسی بیولوژیکی مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این‌تحقیق، تعیین ایزوترم‌های جذب غلظت‌های کم کادمیوم (در محدوده بین ۰/۲ تا ۵ میلی‌گرم بر لیتر) روی توده باکتریایی در pH های مختلف و تعیین میزان بازده فیلتر سیلیسی بیولوژیکی در حذف کادمیوم از آب در زمان ماند (EBCT)[1] های مختلف بوده است.

مواد و روش ها

این تحقیق در سال ۱۳۸۰ در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام پذیرفت. در این تحقیق استوانه‌ای از جنس اکریلیک شفاف به قطر ١٤ سانتی‌متر و ارتفاع مفید(حاوی بستر) ۵۲ سانتی‌متر مجهز به دیفیوزر(پخشان) جهت هوادهی بستر، به عنوان ستون، جهت تشکیل بیوفیلم چسبیده استفاده شد. دانه‌های ماسه (سیلیس) دارای محدوده اندازه مش ۲۰×۱۲(عبوری از الک با مش۱۲ و عبور نکرده از الک با مش۲۰) به عنوان ماده پر کننده جهت ایجاد بستر برای تشکیل بیوفیلم انتخاب شد و داخل ستون قرارداده شد. جریان آب عبوری از ستون به صورت جریان رو به بالا (Up flow) بود. به منظور تنظیم برون ده آب عبوری از ستون، از پمپ تزریق استفاده شد. جهت جلوگیری از خروج دانه‌های سیلیس از ستون، در قسمت خروجی، نازل‌هایی دارای شیارهای باریک قرار داده شد. به منظور توزیع یکنواخت جریان آب، در قسمت ورودی ستون، نازل‌ها و بافل قرارگرفت. در تصویر شماره ۱ تصویر سیستم مورد استفاده در تحقیق نشان داده شده است.

1. Empty Bed Contact Time

www.SID.ir
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-12-09]

Archive of SID

تصویر شماره ۱ : تصویر سیستم مورد استفاده در تحقیق

از استات سدیم (CH_3COONa) به میزان ۲ گرم بر لیتر و نیترات آمونیوم($NH_4 NO_3$) و پتاسیم دی‌هیدروژن 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 بیوفیم استفاده شد.

به منظور تشکیل لایه بیولوژیکی روی بستر، ابتدا دانه‌های سیلیس با مقداری لجن فعال (به عنوان بذر) آغشته شدند و در داخل ستون قرار گرفتند. به ستون، آب حاوی مواد مغذی فوق، اضافه شد و به مدت ٤٨ ساعت، هوادهی صورت گرفت. سپس با عبور آب معمولی از ستون، باقی‌مانده محیط کشت از داخل ستون، خارج و بدین ترتیب، ستونِ دارای بیوفیلم چسبیده، آماده انجام آزمایش شد.

آزمایش‌های مربوط به تعیین ایزوترم‌ها و عوامل موثر بر آن‌ها به صورت ناپیوسته (batch) انجام گرفت. برای این منظور مقداری از بستر سیلیس دارای بیوفیلم چسبیده از ستون، خارج و از طریق شست و شو با آب مقطر، مقداری بیوفیلم از روی آن جدا شد. پس از سانتریفوژ سوسپانسیون حاصله، کیک توده باکتریایی به دست آمد و به میزان مورد نظر، در داخل ارلن ها جهت انجام آزمایش‌های مربوط به تعیین ایزوترم‌ها قرارگرفت.

به منظور تعیین وزن خشک، ۰/۱ گرم کیک توده به مدت یک ساعت در داخل اجاق خشک‌کن(Oven) در دمای۱۰۵ درجه‌سانتی‌گراد قرارگرفت و سپس توزین گردید. متوسط وزن خشک به دست آمده مربوط به ۰/۱ گرم کیک توده، برابر ۰/۰۸۳ گرم به دست آمد، میزان رطوبت کیک توده، ۱۷ درصد تعیین گردید.

برای ساخت محلول‌های کادمیوم از سولفات کادمیوم به فرمول $3\ Cd\ (SO_4)_2.8H_2O$ استفاده گردید و$NaOH, HNO$ ۰/۰۱ نرمال جهت تنظیم pH محلول ها به کار رفت. از آنجا که محلول ها به وسیله آب مقطر فاقد یون ساخته شدند، با اضافه کردن نمک طعام به آن‌ها، 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 می‌سازد. جهت انجام آزمایش‌های مربوط به تعیین ایزوترم ها ، ۰/۱ گرم کیک توده (معادل ۰/۰۸۳ گرم وزن خشک) به ۱۰۰ میلی لیتر از محلول حاوی غلظت معین کادمیوم موجود در ارلن مایرها اضافــه شـد. برای هر غلظت مشخص از کادمیوم (۰/۲ تا ۵ میلی‌گرم بر لیتر)، به طور جداگانه مقدار ۰/۱ گرم کیک توده اضافه شد. سپس ارلن‌ها در داخل انکوباتور یخچال دار مجهـز به شیکر قرار می‌گرفت و با تنظیم دمای مورد نظر، ارلن ها تکان داده می‌شد. به‌منظور تعیین زمان به تعادل رسیدن جذب (عدم تغییر غلظت کادمیوم باقیمانده در محلول، با گذشت زمان) ارلن‌ها به مدت زمان‌های مختلفی از ۱ تا ٦ ساعت با سرعت ۳۰ دور در دقیقه، تکان داده شدند. هر بار پس ازصاف‌کردن محلول به وسیله فیلترفایبرگلاس (GF/A)، میزان کادمیوم باقی مانده در محلول اندازه‌گیری می‌شد.

www.SID.ir

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-12-09]

Archive of SID

پس از آزمایش‌های متعدد، زمان به تعادل رسیدن جذب کادمیوم روی توده مورد آزمایش، حدود ٤ ساعت به دست آمد. برای حصول اطمینان از دست‌یابی به تعادل جذب در آزمایش‌های تعیین ایزوترم‌ها، ارلن‌ها به مدت٦ ساعت در شیکر تکان داده شدند. با استفاده از اسید سولفوریک، نمونه‌های صاف شده تا pH کمتر از ۲ اسیدی می‌گردید و میزان کادمیوم آن اندازه‌گیری می‌شد. جهت تعیین اثر غلظت توده بر میزان جذب کادمیوم، آزمایش‌های تعیین ایزوترم ها با استفاده از ۰/۵ گرم کیک توده (معادل ۰/٤۱۵ گرم وزن خشک) مشابه شرایط فوق انجام شد. به منظور مقایسه بین میزان جذب کادمیوم به وسیله توده تازه و غیر تازه، مقداری از توده به مدت دو هفته در داخل یخچال نگهداری گردید و سپس آزمایش‌های تعیین میزان جذب کادمیوم روی آن به صورت batch انجام شد.

با درتماس قرار دادن توده باکتریایی حاوی‌کادمیوم با آب مقطر به مدت ٦ ساعت، میزان کادمیوم واجذب شده از توده و وارد شده به آب مقطر اندازه گیری شد.

آب حاوی ۰/۵ میلی گرم بر لیترکادمیوم ، با زمان تماس‌های ۱۵ و ۳۰ دقیقه به طور جداگانه از ستون (فیلتر سیلیسی بیولوژیکی) عبور داده شد. آب خروجی از ستون در فواصل زمانی مختلف، نمونه برداری شد. ابتدا نمونه به وسیله فیلتر فایبرگلاس صاف می‌گردید و سپس با اضافه کردن اسید سولفوریک، اسیدی می‌شد و تا قبل از اندازه‌گیری دریخچال نگه‌داری می‌گردید.

هر یک از غلظت‌های کادمیوم (۰/۲ تا ۵ میلی‌گرم بر لیتر) در هر یک از حالت‌های مورد بررسی، سه بار مورد آزمایش قرار می‌گرفت که انحراف معیار در همه موارد، کوچک‌تر از ۰/۰۵ بود و میانگین اعداد، به عنوان داده در نظرگرفته می شد.

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

الف) نتایج آزمایش‌های ناپیوسته (batch)

برای هر یک از غلظت های ۰/۲ ، ۰/۵ ، ۱، ۲ و ۵ میلی گرم بر لیتر کادمیوم، به طور جداگانه ایزوترم‌های مربوط به جذب تعیین شد. با رگرسیون خطی داده‌های مربوط به هر ایزوترم جهت تعیین معادله خط مربوط، ضریب تعیین در مورد هر یک از ایزوترم‌های لانگموئیر و فروندلیچ به طور جداگانه در ارتباط با غلظت‌های فوق تعیین گردید. مقادیر ضریب تعیین مربوط به ایزوترم‌های لانگموئیر و فروندلیچ در pHهای ۵/۵ ، ۷ و ۸ در جدول شماره ۱ آورده شده و مقادیر میانگین (X) آن‌ها با هم مقایسه شده است.

مقادیر حذف مربوط به غلظت‌های ۱ ، ۲و ۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم به وسیله ۸۳۰ میلی گرم بر لیتر (وزن خشک) توده در زمان تماس‌های متفاوت، در نمودار شماره ۱ نشان داده شده است.

با افزایش غلظت کادمیوم، درصد حذف آن به وسیله توده‌کاهش یافت. تعادل جذب (عدم تغییر غلظت کادمیوم با گذشت زمان) پس از حدود ٤ ساعت برقرار شد.

مقایسه مقادیر جذب ۵ میلی‌گرم برلیتر کادمیوم به وسیله توده تازه با غیر تازه در pH= ۸ در نمودار شماره ۲ آمده است. میزان جذب کادمیوم به وسیله توده تازه و غیر تازه تقریبا با هم برابر به دست آمد.

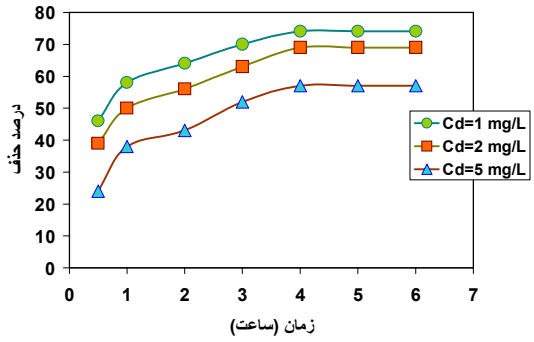
www.SID.ir
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-12-09]

Archive of SID

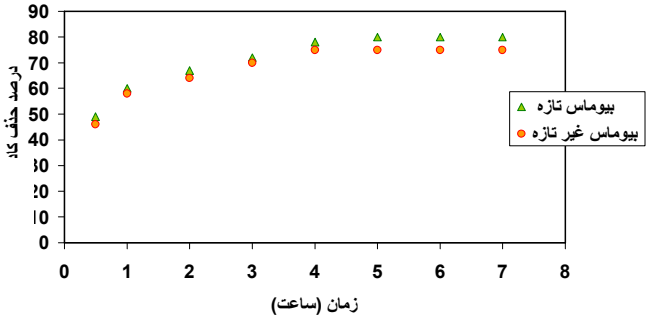
جدول شماره ۱ : مقایسه مقادیر R^2 (ضریب تعیین) مربوط به معادلات لانگموئیر و فروندلیچ برای جذب بیولوژیکی کادمیوم به وسیله مقادیر مختلف توده در pH ها ی متفاوت

	Log q = Log K + 1/n Log C_e				$1/q = (1/q_m) + (1/b\ q_m)\ 1/C_e$		
	Log q	Vs	Log C_e		1/q	Vs	$1/C_e$
pH	Biomass (gr) =	0.415gr R^2	0.083gr R^2	pH		0.415gr R^2	0.083gr R^2
	5.5	0.9997	0.9781		5.5	0.9239	0.9841
	7	0.9996	0.9814		7	0.9141	0.9794
	8	0.9194	0.9679		8	0.9963	0.9889

X=0.9743 SD = 0.029 X=0.9644 SD =0.035



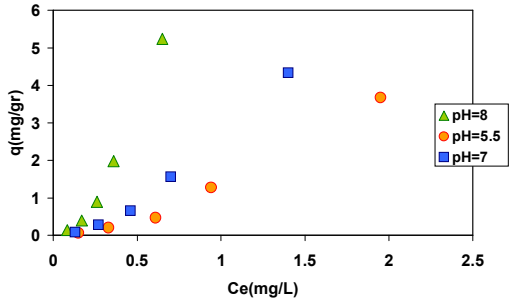
نمودار شماره ۱ : مقایسه میزان حذف مقادیر مختلف کادمیوم بر حسب زمان به وسیله ۸۳۰ میلی گرم بر لیتر توده در pH برابر ۷



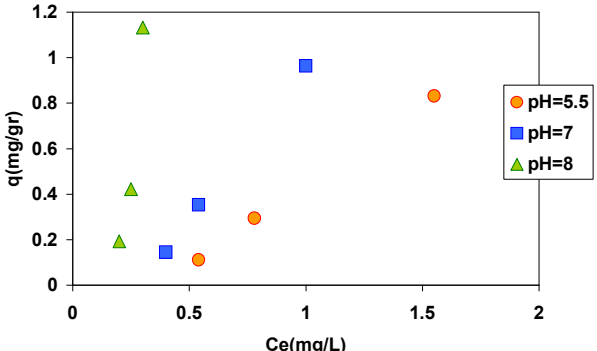
نمودار شماره ۲ : مقایسه میزان حذف ۵ میلی گرم بر لیتر کادمیوم به وسیله ۸۳۰ میلیگرم برلیتر توده تازه و غیر تازه در pH=8

ایزوترم های جذب کادمیوم به وسیله توده در pHهای مختلف در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در نمودار شماره ۳ با یکدیگر مقایسه شده است. با افزایش pH ، میزان جذب کادمیوم به وسیله توده افزایش یافت.

مقادیر جذب کادمیوم به‌وسیله ۸۳۰ و ٤١٥٠ میلی گرم بر لیتر بیوماس در نمودارهای شماره ۳ و ٤ نشان داده شده است. با افزایش غلظت توده میزان جذب کادمیوم کاهش یافت.



نمودار شماره ۳ : مقایسه ایزوترم های جذب کادمیوم به وسیله ۸۳۰ میلی گرم بر لیتر توده در pH های مختلف و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد



نمودار شماره ٤ : مقایسه ایزوترم‌های جذب کادمیوم به وسیله ٤١٥٠ میلی گرم بر لیتر توده درpHهای مختلف و دمای۲۵ درجه‌سانتی گراد

www.SID.ir

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-12-09]

Archive of SID

معادله درجه اول سینتیکی Lagergren به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$Log(q_e - q_t) = Log\ q_e - (K_{ad}/2.303)t$$

در این رابطه q_e برابر میزان q (میلی گرم کادمیوم جذب شده روی یک گرم توده (وزن خشک) پس از به تعادل رسیدن جذب

q_t برابر میزان q در زمان t (مثلا یک ساعت اول)

K_{ad} برابر ضریب جذب کادمیوم روی توده

t برابر مدت زمان تماس موردنظر(مثلا یک ساعت اول)

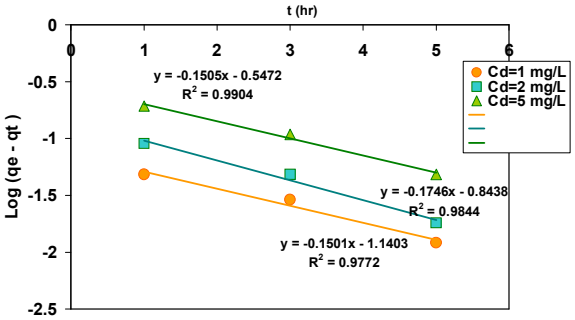
نمودار Log (q_e - q_t) در مقابل زمان از روی داده‌های مربوط به آزمایش جذب در نمودار شماره ۵ رسم شده است. با استفاده از شیب خطوط، مقادیر ضریب جذب (K_{ad}) کادمیوم برای غلظت‌های ۱ ، ۲ و ۵ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب برابر ۰/۳۴۶۶ ، ۰/۴۰۲۱ و ۰/۳۴۵۶ به دست می‌آید.

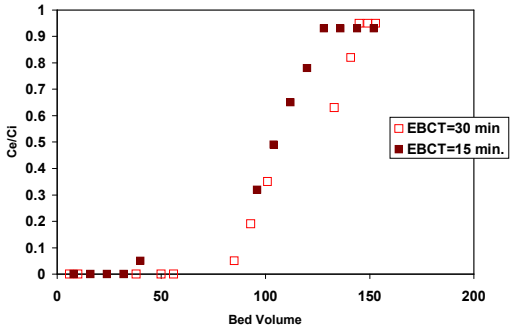
در جدول شماره ۲ میزان و درصد کادمیوم واجذب شده بر اثر تماس توده حاوی کادمیوم با آب مقطر، آورده شده است.

ب) نتایج آزمایشهای روی ستون

منحنی‌های نقطه شکست مربوط به عبور آب حاوی ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم از روی ستون دارای توده چسبیده در زمان تماس (EBCT) های ۱۵ و ۳۰ دقیقه در نمودار شماره ٦ نشان داده شده است.

نمودار شماره ۵ : رسم معادله Lagergren برای جذب غلظت های مختلف کادمیوم به وسیله ۰/۰۸۳ گرم (وزن خشک) توده





نمودار شماره ٦ : مقایسه منحنی‌های نقطه شکست مربوط به عبور آب حاوی ۰/۵ میلی‌گرم بر لیترکادمیوم در زمان ماندهای ۱۵ و ۳۰ دقیقه

جدول شماره۲ : داده‌های مربوط به تعیین میزان جذب و واجذب کادمیوم توسط۰/۰۸۳ گرم(وزن خشک) توده V=100 mL t=23 pH=7

الف)داده های مربوط به جذب

میزان کادمیوم جذب شده توسط ۰/۰۸۳گرم توده(میلی گرم)	درصد حذف	Ce(mg/L)	Ci(mg/L)	M(gr)وزن خشک
۰/۰٦٦	۵۵	۰/۵٤	۱/۲	۰/۰۸۳

ب)داده های مربوط به واجذب

درصد کادمیوم واجذب شده	میزان کادمیوم واجذب شده (میلی گرم)	میزان کادمیوم اندازه گیری شده در آب مقطر پس از ٦ ساعت زمان تماس (میلی گرم بر لیتر)	زمان تماس توده حاوی کادمیوم با آب مقطر (ساعت)	حجم آب مقطر (میلی لیتر)	میزان توده حاوی کادمیوم
۱٦	۰/۰۱۰۵٦	۰/۱۰۵٦	٦	۱۰۰	۰/۰۸۳

www.SID.ir
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-12-09]

Archive of SID

بحث

فرم خطی معادله فروندلیچ برای جذب سطحی مواد جذب شونـده روی مـاده جاذب به صورت زیـر نوشته می شود:

$$\text{Log } qe = \text{Log } k + 1/n \text{ Log } Ce$$

که در آن qe برابر میزان میلی گرم ماده جذب شده به ازای واحد وزن (یک گرم) ماده جاذب k و n اعداد ثابت و Ce برابر غلظت تعادلی (پس از به تعادل رسیدن جذب) ماده جذب شونده می باشد.

معادلـه فرونـد لیـچ با فرض یکسـان نبـودن انرژی مکان‌های جذب روی ماده جاذب و جذب چند لایه‌ای ماده جذب شونده بنا نهاده شده است. از رسم qe در مقابل Ce روی کاغذ لگاریتمی، خطی راست ایجاد می‌شود که شیب آن برابر $\frac{1}{n}$ است. R^2 ضریب رگرسیون خط حاصله می باشد.

فرم خطی معادله لانگ موئیر برای جذب سطحی مواد جذب‌شونده روی ماده جاذب به‌صورت زیر نوشته می شود.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{d.q_m}\left(\frac{1}{c_e}\right)$$

از رسم $\frac{1}{q_2}$ در مقابل $\frac{1}{c_e}$ خط راستی با شیب $\frac{1}{bq_m}$ و عرض از مبداء $\frac{1}{q_m}$ ایجاد می شود. R^2 ضریب رگرسیون خط حاصله است. q_m و b اعداد ثابت و q_e و c_e مطابق تعریف فوق می باشند. معادلـه لانگ موئیـر با فرض یکسـان بـودن انـرژی مکان‌هـای جذب روی ماده جاذب و جذب یک لایه ای ماده جذب شونده بنا نهاده شده است. مقایسه ضریب رگرسیون مربوط به تطابق ایزوترم جذب مـورد مطالعـه با معادله فروندلیـچ (R^2 = ۰/۹۷۴۳ و SD=۰/۰۲۹) با ضریب رگرسیون مربوط به تطابق ایزوترم جذب مورد مطالعه با معادله لانگ موئیر(SD= ۰/۰۳۵ و R^2=۰/۹٦٤٤) نشان می دهد که جذب کادمیوم به وسیله توده مورد مطالعه با معادله لانگ موئیر و فروندلیچ سازگار است وبا معادله فروندلیچ تطابق بیشتری دارد. زیرا مقادیر ضریب رگرسیون(R^2) مربوط به آن از مقادیر R^2 مربوط به معادله لانگ موئیر، بزرگ‌تر است.

Dong W.Kim و همکارانش (۲۰۰۲)، ایزوترم جذب کادمیوم روی توده لجن فعال در حالت رشد معلق را تعیین و گزارش نموده‌اند که جذب کادمیوم روی لجن فعال مورد مطالعه (با استفاده از استات سدیم به‌عنوان منبع کربن) با معادله لانگ موئیر،تطابق بیش‌تری داشته است(٦).

زمان به تعادل رسیدن جذب کادمیوم روی توده مورد مطالعه، حدود ٤ ساعت به دست آمده است. S.C.Costley و F.M.Wallis (۲۰۰۱) زمان به تعادل رسیدن جذب کادمیوم به وسیله توده باکتریایی را ٤ ساعت به دست آورده‌اند(۷). تعادل جذب به معنای عدم تغییر غلظت ماده جذب شونده درمحلول با گذشت زمان است و مبین این موضوع است که حداکثر میزان جذب روی ماده جذب شونده صورت گرفته است. همان‌طور که در نمودار شماره ۱ نشان داده شده است، میزان جذب در ۳۰ دقیقه اول زیاد است و با گذشت زمان به تدریج افزوده می شود تا این‌که پس از ٤ ساعت به حداکثر میزان خود می رسد. زیاد بودن میزان جذب در ابتدای فرآیند جذب دلیل بر این موضوع است که جذب کادمیوم به وسیله توده مورد مطالعه، بیش‌تر از نوع جذب فیزیکی روی دیواره سلولی باکتری‌ها است. J.A. Scott و S.J.Palmer (۱۹۹۰) در مقاله ای بیان نموده اند که زیاد بودن میزان جذب کادمیوم در ابتدای فرایند جذب، مبین جذب فیزیکی روی دیواره سلولی است(۸). در نمودار شماره ۲، میزان جذب کادمیوم به وسیله توده تازه با میزان جذب کادمیوم به وسیله توده غیر فعال (نگهداری شده در یخچال در دمای ٤^{oc} به مدت یک‌هفته) با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌گونه

www.SID.ir

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-12-09]

Archive of SID

که ملاحظه می‌شود، میزان کادمیوم جذب شده به وسیله توده تازه با میزان کادمیوم جذب شده به وسیله توده غیر فعال، تقریبا برابر است. این موضوع نشان می‌دهد که جذب کادمیوم به وسیله باکتری‌ها یک فرآیند فیزیکی و شیمیایی است و فعالیت بیولوژیکی توده بر میزان جذب کادمیوم تاثیری ندارد. بنابراین خواص مربوط به جذب فلزات توسط باکتری‌ها را می‌توان به صورت آزمایش‌های batch در آزمایشگاه انجام داد و نتیجه را به یک سیستم واقعی تصفیه تعمیم داد.

Jianmin Wang و همکارانش (۱۹۹۹) ضمن اعلام منابع مطالعاتی متعدد در مورد زمان به تعادل رسیدن جذب فلزات سنگین روی لجن فعال ، گزارش کرده اند که جذب فلزات سنگین روی لجن ثانویه شامل دو مرحله است: مرحله اول که شامل جذب سریع و به میزان زیاد در مدت زمان کوتاه (ازچند دقیقه تا یک ساعت) است و مرحله دوم که شامل جذب تدریجی با سرعت کم در مدت زمان طولانی‌تر (چند ساعت) است. آنها همچنین میزان جذب فلزات سنگین به وسیله لجن فعال تازه و غیر تازه (نگهداری شده در یخچال به مدت دو هفته) را با یکدیگر مقایسه نموده‌اند (۹).

اثر تغییرpH بر میزان جذب‌کادمیوم به‌وسیله توده چسبیده در نمودار شماره ۳ نشان داده شده است. با افزایش pH، میزان جذب کادمیوم به وسیله توده افزایش یافت. یا کاهش pH به ۵/۵، میزان جذب کادمیوم توده چسبیده کاهش یافت؛ در حالی که با افزایش pH به ۸ ، میزان جذب کادمیوم به میزان بیش‌تری افزایش یافت. اثر افزایش pH بر افزایش میزان جذب کادمیوم در غلظت‌های بالاتر، مشهودتر است. با افزایش pH، گروه‌های عاملی موجود درسطح دیواره باکتری‌ها، پروتون خود را از دست می دهند که یون‌های فلزی می‌تواند به جای آن‌ها جایگزین شود. A. Esposito و همکارانش(۲۰۰۱) اثر تغییر pH بر میزان جذب کادمیوم به وسیله Sphaerotilus natans را مورد بررسی قرار داده و اعلام نمودند که با افزایش pH ، میزان جذب کادمیوم روی این باکتری افزایش می‌یابد(۱۰).

Y.Liu و M.C.Lam (۲۰۰۱) گزارش کرده‌اند که با افزایش pH تا ۸ ، میزان جذب نیکل به وسیله لجن ثانویه (لجن فعال) افزایش می‌یابد و با افزایش بیش تر pH از میزان جذب کاسته می‌شود. آن ها علت کم شدن میزان جذب فلز روی توده با افزایش pH بیش از ۸ را آزاد شدن ترکیبات آلی محلول از میکروارگانیسم ها در pH های بالا دانسته‌اند؛ زیرا این ترکیبات با فلزات سنگین، کمپلکس تشکیل می دهند. همچنین اعلام شده است که علت کاهش میزان جذب فلزات سنگین با افزایش بیش از حد pH ، می تواند مربوط به تشکیل کمپلکس هیدروکسید یا کربنات فلز باشد که تمایل کمی برای جذب روی سطوح میکربی دارد(۱۱).

میزان جذب کادمیوم به‌وسیله ۸۳۰ و ٤۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر (وزن خشک) توده مورد مطالعه در PH های مختلف در نمودارهای شماره ۳ و٤ با یکدیگر مقایسه شده است. گرچه با ۵ برابرشدن غلظت توده، تنها به مقدار کمی درصد حذف کادمیوم افزایش نشان داد، از میزان جذب کادمیوم به ازاء واحد وزن توده (q) به مقدار زیادی کاسته شد.

Jianmin wang و همکارانش (۱۹۹۹) میزان جذب Ni(II) به وسیله لجن ثانویه (از سیستم لجن فعال) در دو غلظت مختلف از توده را مورد بررسی قرار دادند و گزارش نموده‌اندکه با افزایش غلظت توده، میزان جذب نیکل کاهش می‌یابد. آن‌ها نتیجه گرفتند که با افزایش غلظت توده، میزان غلظت مواد آلی محلول افزایش می‌یابد و چون مواد آلی با نیکل، کمپلکس تشکیل می‌دهند، میزان جذب نیکل روی توده‌کاهش می‌یابد(۹).

J.Scott و G.K.Sage (۱۹۸۸) گزارش کرده‌اند که میزان جذب کادمیوم به وسیله باکتری‌ها به غلظت

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-12-09]

www.SID.ir

Archive of SID

باکتری‌ها بستگی دارد و با افزایش غلظت باکتری‌ها، میزان جذب کادمیوم کاهش می‌یابد. آن‌ها علت این امر را احتمالاً واکنش متقابل بین گروه‌های عاملی سطح باکتری‌ها در زمانی که غلظت باکتری ها زیاد است، دانسته‌اند(۱۲).

از رسم Log(qe-qt) در مقابل زمان (t)، خط راست ایجاد می‌شود که مبین این است که جذب بیولوژیکی کادمیوم به وسیله توده باکتریایی مورد آزمایش از سینتیک مرتبه اول تبعیت می‌نماید.

J.A. Scott و A.M. Karanjkar (۱۹۹۵) با استفاده ازمعادله Lagergren سینتیک مرتبه‌اول،جذب بیولوژیکی کادمیـوم به وسیلـه توده را توجیـه کرده‌اند(۱۳).

میزان واجذب کادمیوم از توده که کادمیوم را جذب کرده بود، بر اثر ٦ ساعت تماس توده با آب، ١٦درصد به دست آمد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که میزان واجذب در زمان تماس‌های کم‌تر، میزان پایین‌تری است. Sabine P.Kuhn و Robert M.Pfister (۱۹۹۰) میزان واجذب کادمیوم از روی توده Zoogloea ramigera بر اثر تماس توده ذکر شده حاوی کادمیوم با آب را ۲۰ درصد به‌دست آورده‌اند(١٤).

منحنی‌های نقطه شکست مربوط به جذب ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم به وسیله ستون حاوی توده چسبیده مربوط به زمان تماس های ۱۵ دقیقه و ۳۰ دقیقه در نمودار شماره ٦ با هم مقایسه شده است. در صورتی که نقطه شکست را در نسبت Ce/Ci=0.05 تعریف نماییم، برای زمان تماس ۱۵ دقیقه ، نقطه شکست پس از عبور آب به میزان ٤۰ برابر حجم بستر(Bed Volume) ایجاد می‌شود و برای زمان تماس ۳۰ دقیقه، نقطه شکست پس از ۸۵ برابر حجم بستر فرا می‌رسد. این موضوع نشان می‌دهد که افزایش زمان تماس از ۱۵ دقیقه به ۳۰ دقیقه، بازده ستون را بهبود می‌بخشد.

به عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت جذب کادمیوم به وسیله توده به صورت جذب فیزیکی است و از سینتیک مرتبه اول تبعیت می‌کند. همچنین حذف کامل مقادیر اندک کادمیوم از منابع آب آلوده شده با استفاده از فیلتر شنی بیولوژیکی قابل انجام بوده و نقطه شکست پس از عبور آب به میزان ۸۵ برابر حجم بستر، فرا می‌رسد.

فهرست منابع

1. Chapman Debora, ***Water Quality Assessments.*** Second edition. London: E & FN Spon; 1996, pp. 449-451.
2. Kawamura Susumu. ***Integrated Design of water treatment facilities.*** first edition. USA: John Wiley & Sons; 1991, pp. 566.
3. W. Pontius, Frederick, ***Water Quality and Treatment.*** Fourth Edition. New York: Mc Graw Hill, Inc; 1990, pp. 812-817.
4. S.C. Costley and F.M. Wallis. Bioremediation of heavy metals in a synthetic wastewater using a rotating biological contactor, ***Wat. Res.*** 2001; 35(15): 3715-3723.
5. T.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.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-12-09]

www.SID.ir

Archive of SID

6. Dong W. Kim. Heavy metal removal by activated sludge: influence of Nocardia amarae. ***Chemosphere,*** 2002; 46: 137-142.
7. S.C. Costley and F.M. Wallis. Bioremediation of heavy metals in a synthetic wastewater using a rotating biological contactor. ***Wat. Res.*** 2001; 35(15): 3715- 3723.
8. J.A. Scott, S.J. Palmer, Sites of Cadmium uptake in bacteria used for biosorption, ***Appl. Microbiol. Biotechnol.*** 1990; 33: 221-225.
9. Jianmin Wang. Effects of Dissolved Organic Matter and pH on heavy Metal Uptake by Sludge Particulates Exemplified by Copper (II) and Nickle (II), ***Water Environment Research,*** 1999; 71(2): 139-147.
10. Esposito A. Biosorption of heavy metals by Sphaerotilus natans: an equilibrium study at different pH and biomass concentrations, ***J.Hydrometallurgy,*** 2000; 60: 129-141.
11. Y. Liu, M.C. Lam and H.H.P. Fang. Absorption of heavy metals by EPS of activated sludge. ***Water Science and Technology,*** 2001; 43(6): 59-66.
12. J.A. Scott, G.K. Sage and S. J. Palmer. Metal Immobilisation by Microbial Capsular Coatings, ***Biorecovery.*** 1988; 1: 51-58.
13. Scott J.A, Karanjkar A.M. Absorption isotherms and diffusion coefficients for metals biosorbed by biofilm coated granular activated carbon. ***Biotechnology Letters,*** 1995; 17(11): 1267-1270.
14. P. Kuhn Sabine, Pfister Robert M. Accumulation of Cadmium by immobilized Zoogloea ramigera 115, J***. of Ind. Microbiology,*** 1990; 6: 123-128.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-12-09]

www.SID.ir