

بررسی میزان حذف کادمیوم از آب به وسیله توده

باکتریایی در فیلتر سیلیسی بیولوژیکی

محمود شریعت (**Ph.D.)

رمضانعلی دیانتی تیلکی *

چکیده

سابقه و هدف : بررسی ها نشان می دهد که آب های 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، گزارش های متعددی وجود دارد. اما در باره حذف غلظت های کم کادمیوم (موجود در منابع آب آلوده شده) به روش مذکور، تحقیقات اندکی صورت گرفته است. هدف از این تحقیق، تعیین خطوط منحنی (ایزوترم های) 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 تماس های 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 تعیت 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 تقریباً 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 ماندهای ۱۵ و ۳۰ دقیقه، نقاط شکست به ترتیب پس از عبور آب به میزان ۴۰ و ۸۵ برابر حجم بستر خالی اتفاق افتاد.

استنتاج : جذب کادمیوم به وسیله توده باکتریایی غالباً به صورت فیزیکی است و از سینتیک درجه اول تعیت می کند.

واژه های کلیدی : کادمیوم، بیوماس باکتریایی، ایزوترم

* دکترای بهداشت محیط استادیار دانشگاه علوم پزشکی مازندران

** استاد بهداشت محیط- دانشگاه علوم پزشکی تهران

تاریخ تصویب: ۸۲/۶/۱۶

تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۸۲/۵/۱۶

تاریخ دریافت: ۸۲/۲/۱۶

مقدمه

در این تحقیق حذف کادمیوم از آب با استفاده از فیلتر سیلیسی بیولوژیکی مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این تحقیق، 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)^۱ های مختلف بوده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۸۰ در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام پذیرفت. در این تحقیق استوانه‌ای از جنس اکریلیک شفاف به قطر ۱۴ سانتی‌متر و ارتفاع مفید(حاوی بستر) ۵۲ سانتی‌متر مجهرز به دیفیوزر(پخشان) جهت هواهی بستر، به عنوان ستون، جهت تشكیل بیوفیلم چسبیده استفاده شد. دانه‌های ماسه (سیلیس) دارای محدوده اندازه مش ۱۲×۲۰ (عبوری از الک با مش ۱۲ و عبور نکرده از الک با مش ۲۰) به عنوان ماده پر کننده جهت ایجاد بستر برای تشكیل 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 بروون 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 قرار گرفت. در تصویر شماره ۱ تصویر سیستم مورد استفاده در تحقیق نشان داده شده است.

روش‌های مختلفی برای حذف کادمیوم از آب و فاضلاب وجود دارد که 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 مقرن 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^(۴). 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).

1. Empty Bed Contact Time

مقطور، 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 آزمایش های مربوط به تعیین ایزووترم ها قرار گرفت. به منظور تعیین وزن خشک، ۰/۱ گرم کیک توده به مدت یک ساعت در داخل اجاق خشک کن (Oven) در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت 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 محلول های کادمیوم از سولفات کادمیوم به فرمول $(\text{SO}_4)_{2 \cdot 8\text{H}_2\text{O} \text{ Cd}}^3$ استفاده گردید و میزان NaOH , HNO_3 , NaCl نرمال جهت تنظیم pH محلول ها به کار رفت. از آنجا که محلول ها به وسیله آب مقطور فاقد یون ساخته شدند، با اضافه کردن نمک طعام به آنها، غلظت $0/01$ 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 آزمایش های مربوط به تعیین ایزووترم ها، ۰/۱ گرم کیک توده (معادل $0/083$ گرم وزن خشک) به ۱۰۰ میلی لیتر از محلول حاوی غلظت معین کادمیوم موجود در ارلن مایرها اضافه شد. برای هر غلظت مشخص از کادمیوم ($0/2$ تا 5 میلی گرم بر لیتر)، به طور جداگانه مقدار $0/1$ گرم کیک توده اضافه شد. سپس ارلن ها در داخل انکوباتور یخچال دار مجهز به شیکر قرار می گرفت و با تنظیم دمای مورد نظر، ارلن ها تکان داده می شد. به منظور تعیین زمان به تعادل رسیدن جذب (عدم تغییر غلظت کادمیوم باقیمانده در محلول، با گذشت زمان) ارلن ها به مدت زمان های مختلفی از 1 تا 6 ساعت با سرعت 30 دور در دقیقه، تکان داده شدند. هر بار پس از صاف کردن محلول به وسیله فیلتر فایبر گلاس (GF/A)، میزان کادمیوم باقی مانده در محلول اندازه گیری می شد.



تصویر شماره ۱: تصویر سیستم مورد استفاده در تحقیق

از استات سدیم (CH_3COONa) به میزان 2 گرم بر لیتر و نیترات آمونیوم (NH_4NO_3) و پتانسیم دی هیدروژن فسفات (KH_2PO_4), هر کدام به میزان $0/5$ گرم بر لیتر و کلرید کلسیم (CaCl_2) و سولفات منیزیم (MgSO_4) هر کدام به میزان $0/2$ گرم بر لیتر، به عنوان مواد مغذی جهت رشد باکتری ها و تشکیل بیوفیلم استفاده شد.

به منظور تشکیل لایه بیولوژیکی روی بستر، ابتدا دانه های 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 48 ساعت، هوادهی صورت گرفت. سپس با عبور آب معمولی از ستون، باقیمانده محیط کشت از داخل ستون، خارج و بدین ترتیب، ستون دارای بیوفیلم چسبیده، آمده انجام آزمایش شد.

آزمایش های مربوط به تعیین ایزووترم ها و عوامل موثر بر آنها به صورت نایپوسته (batch) انجام گرفت. برای این منظور مقداری از بستر سیلیس دارای بیوفیلم چسبیده از ستون، خارج و از طریق شست و شو با آب

اندازه‌گیری کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب Chem Tech Analytical ALPHA اتمی مدل ۴ شعله‌ای با سوخت هوا- استیلن در طول موج ۲۲۸/۸ نانومتر انجام پذیرفت.

یافته ها

الف) آزمایش‌های نتایج ناپیوسته (batch) برای هر یک از غلظت‌های $0/2$ ، $0/5$ ، 1 ، 2 و 5 میلی گرم بر لیتر کادمیوم، به طور جداگانه ایزووترم‌های مربوط به جذب تعیین شد. با رگرسیون خطی داده‌های مربوط به هر ایزووترم جهت تعیین معادله خط مربوط، ضریب تعیین در مورد هر یک از ایزووترم‌های لانگموئیر و فروندلیچ به طور جداگانه در ارتباط با غلظت‌های فوق تعیین گردید. مقادیر ضریب تعیین مربوط به ایزووترم‌های لانگموئیر و فروندلیچ در pH های $5/5$ ، 7 و 8 در جدول شماره ۱ آورده شده و مقادیر میانگین (X) آنها با هم مقایسه شده است.

مقادیر حذف مربوط به غلظت‌های 1 ، 2 و 5 میلی گرم بر لیتر کادمیوم به وسیله 830 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 توده کاهش یافت. تعادل جذب (عدم تغییر غلظت کادمیوم با گذشت زمان) پس از حدود ۴ ساعت برقرار شد.
مقایسه مقادیر حذف 5 میلی گرم بر لیتر کادمیوم به وسیله توده تازه با غیر تازه در $\text{pH}=8$ در نمودار شماره 2 آمده است. میزان جذب کادمیوم به وسیله توده تازه و غیر تازه تقریباً با هم برابر به دست آمد.

پس از آزمایش‌های متعدد، زمان به تعادل رسیدن جذب کادمیوم روی توده مورد آزمایش، حدود ۴ ساعت به دست آمد. برای حصول اطمینان از دستیابی به تعادل جذب در آزمایش‌های تعیین ایزووترم‌ها، ارلن‌ها به مدت ۶ ساعت در شیکر تکان داده شدند. با استفاده از اسید سولفوریک، نمونه‌های صاف شده تا pH کمتر از 2 اسیدی می‌گردید و میزان کادمیوم آن اندازه‌گیری می‌شد. جهت تعیین اثر غلظت توده بر میزان جذب کادمیوم، آزمایش‌های تعیین ایزووترم‌ها با استفاده از $0/5$ گرم کیک توده (معادل $0/415$ 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 حاوی کادمیوم با آب مقطر به مدت ۶ ساعت، میزان کادمیوم واجذب شده از توده و وارد شده به آب مقطر اندازه‌گیری شد. آب حاوی $0/5$ میلی گرم بر لیتر کادمیوم، با زمان تماس‌های 15 و 30 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 در یخچال نگه داری می‌گردید. هر یک از غلظت‌های کادمیوم ($0/2$ تا $0/5$ میلی گرم بر لیتر) در هر یک از حالات‌های مورد بررسی، سه بار مورد آزمایش قرار می‌گرفت که انحراف معیار در همه موارد، کوچک‌تر از $0/05$ بود و میانگین اعداد، به عنوان داده در نظر گرفته می‌شد.

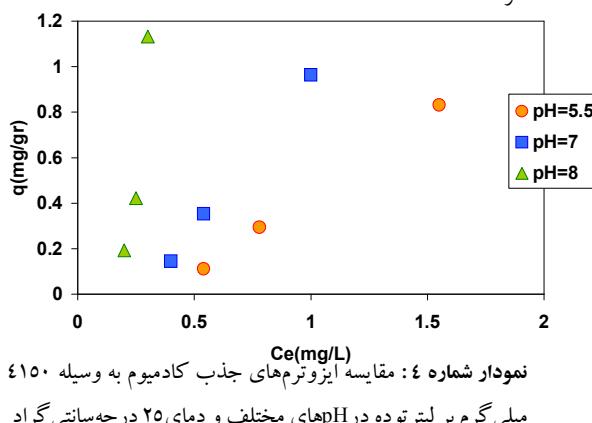
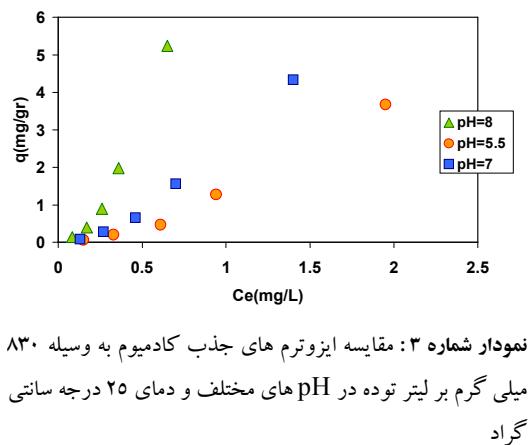
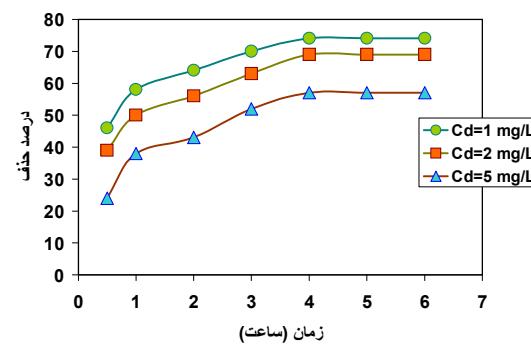
جدول شماره ۱ : مقایسه مقادیر R^2 (ضریب تعیین) مربوط به معادلات لانگموئیر و فروندلیچ برای جذب بیولوژیکی کادمیوم به وسیله مقادیر مختلف توده در pH های متفاوت

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

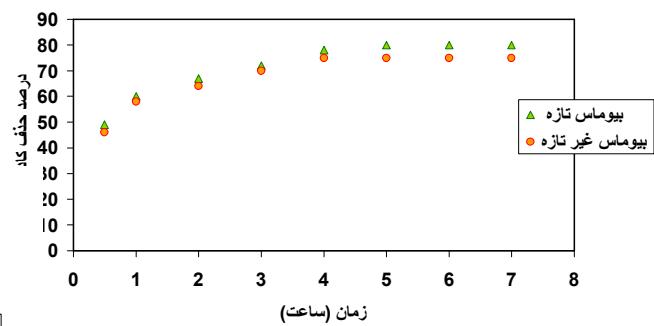
$X=0.9743$
 $SD = 0.029$

$X=0.9644$
 $SD = 0.035$

نمودار شماره ۳ با یکدیگر مقایسه شده است. با افزایش pH، میزان جذب کادمیوم به وسیله توده افزایش یافت. مقادیر جذب کادمیوم به وسیله ۸۳۰ میلی گرم بر لیتر بیوماس در نمودارهای شماره ۳ و ۴ نشان داده شده است. با افزایش غلظت توده میزان جذب کادمیوم کاهش یافت.



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

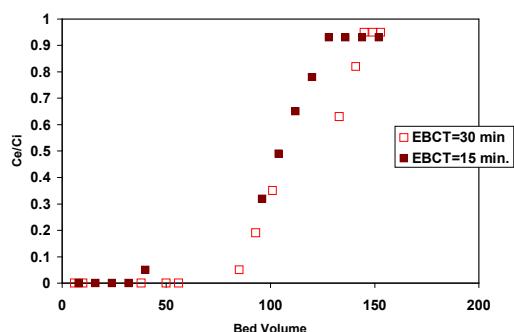
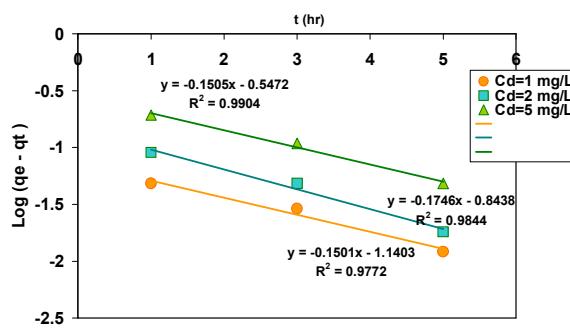


نمودار شماره ۲ : مقایسه میزان حذف ۵ میلی گرم بر لیتر کادمیوم به وسیله ۸۳۰ میلی گرم بر لیتر تازه و غیر تازه در pH=8

ایزوترم های جذب کادمیوم به وسیله توده در pH های مختلف در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد در

چسبیده در زمان تماس (EBCT) های ۱۵ و ۳۰ دقیقه در نمودار شماره ۶ 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 ۶: مقایسه منحنی های نقطه شکست مربوط به عبور آب حاوی ۰/۰۵ میلی گرم بر لیتر کادمیوم در زمان ماندهای ۱۵ و ۳۰ دقیقه

جدول شماره ۲: داده های مربوط به تعیین میزان جذب و واجذب کادمیوم توسط ۰/۰۸۳ گرم (وزن خشک) توده

الف) داده های مربوط به جذب

میزان کادمیوم جذب شده توسط ۰/۰۸۳ گرم توده (میلی گرم)	درصد حذف	C _e (mg/L)	M(gr) وزن خشک
۰/۰۶۶	۵۵	۱/۲	۰/۰۸۳

ب) داده های مربوط به واجذب

درصد کادمیوم واجذب شده (میلی گرم)	میزان کادمیوم واجذب شده (میلی گرم)	زمان تماس توده حاوی کادمیوم با آب مقطر (ساعت)	حجم آب مقطر (میلی لیتر)	میزان توده حاوی کادمیوم
۱۶	۰/۰۱۰۵۶	۰/۱۰۵۶	۶	۰/۰۸۳

معادله درجه اول سینتیکی Lagergren به صورت

زیر نوشته می شود:

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

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 (مثلاً یک ساعت اول)

K_{ad} برابر ضریب جذب کادمیوم روی توده

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

نمودار $\text{Log}(q_e - q_t)$ در مقابل زمان از روی

داده های مربوط به آزمایش جذب در نمودار شماره ۵

رسم شده است. با استفاده از شبیه خطوط، مقادیر

ضریب جذب (K_{ad}) کادمیوم برای غلظت های ۱، ۲ و

۵ میلی گرم بر لیتر به ترتیب برابر ۰/۴۰۲۱، ۰/۳۴۶۶ و

۰/۳۴۵۶ به دست می آید.

در جدول شماره ۲ میزان و درصد کادمیوم واجذب

شده بر اثر تماس توده حاوی کادمیوم با آب مقطر،

آورده شده است.

ب) نتایج آزمایش های روی ستون

منحنی های نقطه شکست مربوط به عبور آب حاوی

۰/۰۵ میلی گرم بر لیتر کادمیوم از روی ستون دارای توده

بحث

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 استاتس سدیم به عنوان منبع کربن) با معادله لانگ موئیر، تطابق بیشتری داشته است.^(۶)

زمان به تعادل رسیدن جذب کادمیوم روی توده مورد مطالعه، حدود ۴ ساعت به دست آمده است. F.M.Wallis و S.C.Costley (۲۰۰۱) زمان به تعادل رسیدن جذب کادمیوم به وسیله توده باکتریایی را ۴ ساعت به دست آورده‌اند.^(۷) تعادل جذب به معنای عدم تغییر غلظت ماده جذب شونده در محلول با گذشت زمان است و میان 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 می‌شود تا این‌که پس از ۴ ساعت به حداکثر میزان خود می‌رسد. 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. S.J.Palmer و J.A. Scott (۱۹۹۰) در مقاله‌ای بیان نموده‌اند که زیاد بودن میزان جذب کادمیوم در ابتدای فرآیند جذب، میان 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 ۴°C به مدت یک هفته) با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌گونه

فرم خطی معادله فروندلیچ برای جذب سطحی مواد جذب شونده روی ماده جاذب به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\text{Log } q_e = \text{Log } k + 1/n \text{ Log } C_e$$

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

معادله فروندلیچ با فرض یکسان بودن انرژی مکان‌های جذب روی ماده جاذب و جذب چند لایه‌ای ماده جذب شونده بنا نهاده شده است. از رسم q_e در مقابل C_e روی کاغذ لگاریتمی، خطی راست ایجاد می‌شود که شبیه آن برابر $\frac{1}{n}$ است. R^2 ضریب رگرسیون خط حاصله می‌باشد.

فرم خطی معادله لانگ موئیر برای جذب سطحی مواد جذب شونده روی ماده جاذب به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{d \cdot q_m} \left(\frac{1}{C_e} \right)$$

از رسم $\frac{1}{q_e}$ در مقابل $\frac{1}{C_e}$ خط راستی با شبیه $\frac{1}{bq_m}$ و عرض از مبدأ $\frac{1}{q_m}$ ایجاد می‌شود. R^2 ضریب رگرسیون خط حاصله است. q_m و b اعداد ثابت و C_e مطابق تعریف فوق می‌باشند. معادله لانگ موئیر با فرض یکسان بودن انرژی مکان‌های جذب روی ماده جاذب و جذب یک لایه ای ماده جذب شونده بنا نهاده شده است. مقایسه ضریب رگرسیون مربوط به تطابق ایزوترم جذب مورد مطالعه با معادله فروندلیچ ($R^2 = 0.9743$ و $SD = 0.029$) با ضریب رگرسیون مربوط به تطابق ایزوترم جذب مورد مطالعه با معادله لانگ موئیر ($R^2 = 0.9644$ و $SD = 0.035$) نشان می‌دهد که جذب کادمیوم به وسیله توده مورد مطالعه با معادله لانگ موئیر و فروندلیچ سازگار است و با معادله

به وسیله *Sphaerotilus natans* را مورد بررسی قرار داده و اعلام نمودند که با افزایش pH ، میزان جذب کادمیوم روی این باکتری افزایش می یابد(۱۰). M.C.Lam و Y.Liu (۲۰۰۱) گزارش کرده اند که با افزایش pH تا ۸ ، میزان جذب نیکل به وسیله لجن ثانویه (لجن فعال) افزایش می یابد و با افزایش بیش تر pH از میزان جذب کاسته می شود. 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 دانسته اند؛ 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 تعامل کمی برای جذب روی سطح میکروبی دارد(۱۱).

میزان جذب کادمیوم به وسیله ۸۳۰ و ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر (وزن خشک) توده مورد مطالعه در pH های مختلف در نمودارهای شماره ۳ و ۴ با یکدیگر مقایسه شده است. گرچه با ۵ برابر شدن 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 نموده اند که با افزایش غلظت توده، میزان جذب نیکل کاهش می یابد. آن ها نتیجه گرفتند که با افزایش غلظت توده، میزان غلظت مواد آلی محلول افزایش می یابد و چون مواد آلی با نیکل، کمپلکس تشکیل می دهند، میزان جذب نیکل روی توده کاهش می یابد(۹). G.K.Sage و J.Scott (۱۹۸۸) گزارش کرده اند که میزان جذب کادمیوم به وسیله باکتری ها به غلظت

که ملاحظه می شود، میزان کادمیوم جذب شده به وسیله توده تازه با میزان کادمیوم جذب شده به وسیله توده غیر فعال، تقریباً برابر است. این موضوع نشان می دهد که جذب کادمیوم به وسیله باکتری ها یک فرآیند فیزیکی و شیمیابی است و فعالیت بیولوژیکی توده بر میزان جذب کادمیوم تاثیری ندارد. بنابراین خواص مربوط به جذب فلزات توسط باکتری ها را می توان به صورت آزمایش های batch در آزمایشگاه انجام داد و نتیجه را به یک سیستم واقعی تصفیه تعیین 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 (از چند دقیقه تا یک ساعت) است و مرحله دوم که شامل جذب تدریجی با سرعت کم در مدت زمان طولانی تر (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 نموده اند (۹).

pH بر میزان جذب کادمیوم به وسیله 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 غلظت های بالاتر، مشهود تر است. با افزایش pH، گروه های عاملی موجود در سطح دیواره باکتری ها، پروتون خود را از دست می دهند که یون های فلزی می تواند به جای آنها جایگزین شود. A. Esposito و همکارانش (۲۰۰۱) اثر تغییر pH بر میزان جذب کادمیوم

منحنی های نقطه شکست مربوط به جذب ۰/۵ میلی گرم بر لیتر کادمیوم به وسیله ستون حاوی توده چسبیده مربوط به زمان تماس های ۱۵ دقیقه و ۳۰ دقیقه در نمودار شماره ۶ 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 ۴۰ برابر حجم بستر (Bed Volume) ایجاد می شود و برای زمان تماس ۳۰ دقیقه، نقطه شکست پس از ۸۵ برابر حجم بستر فرا می رسد. این موضوع نشان می دهد که افزایش زمان تماس از ۱۵ دقیقه به ۳۰ دقیقه، بازده ستون را بهبود می بخشد.

به عنوان نتیجه گیری کلی می توان گفت جذب کادمیوم به وسیله توده به صورت جذب فیزیکی است و از سیستیک مرتبه اول تبعیت می کند. همچنین حلف 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 می رسد.

باکتری ها بستگی دارد و با افزایش غلظت باکتری ها، میزان جذب کادمیوم کاهش می یابد. آنها علت این امر را احتمالاً واکنش متقابل بین گروه های عاملی سطح باکتری ها در زمانی که غلظت باکتری ها زیاد است، دانسته اند (۱۲).

از رسم $\text{Log}(qe-qt)$ در مقابل زمان (t)، خط راست ایجاد می شود که میان این است که جذب بیولوژیکی کادمیوم به وسیله توده باکتریایی مورد آزمایش از سیستیک مرتبه اول تبعیت می نماید.

A.M. Karanjkar و J.A. Scott از معادله Lagergren سیستیک مرتبه اول، جذب بیولوژیکی کادمیوم به وسیله توده را توجیه کردند (۱۳).

میزان واجذب کادمیوم از توده که کادمیوم را جذب کرده بود، بر اثر ۶ ساعت تماس توده با آب، ۱۶ درصد به دست آمد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که میزان واجذب در زمان تماس های کمتر، میزان پایین تری است. Robert M.Pfister و Sabine P.Kuhn از جذب کادمیوم از روی توده Zoogloea ramigera بر اثر تماس توده ذکر شده حاوی کادمیوم با آب را ۲۰ درصد به دست آورده اند (۱۴).

فهرست منابع

- Chapman Debora, *Water Quality Assessments*. Second edition. London: E & FN Spon; 1996, pp. 449-451.
- Kawamura Susumu. *Integrated Design of water treatment facilities*. first edition. USA: John Wiley & Sons; 1991, pp. 566.
- W. Pontius, Frederick, *Water Quality and Treatment*. Fourth Edition. New York: Mc Graw Hill, Inc; 1990, pp. 812-817.
- 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.

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.

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.