

جذب سطحی فلزهای کادمیوم و سرب از محلولهای آبی به وسیله بیومس جلبک قهوه ای

سیستوسرا ایندیکا

ناصر جعفری^{۱*} و سلمان احمدی اسپچین^۲^۱ بابلسر، دانشگاه مازندران، دانشکده علوم پایه، گروه زیست شناسی^۲ بابلسر، دانشگاه مازندران، دانشکده علوم پایه، گروه زیست شناسی سلولی و مولکولی

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۳

چکیده

در این تحقیق به بررسی جذب کاتیونهای کادمیوم و سرب از محلول آبی توسط جلبک قهوه ای به نام سیستوسرا/ ایندیکا پرداخته شده است. توانایی جذب این جلبک به مقداری زیادی تحت تأثیر pH محلول قرار دارد، یعنی با افزایش میزان pH محلول، مقدار جذب هر دو فلز به وسیله جلبک افزایش یافته است. مناسب ترین pH برای جذب زیستی این فلزات بین ۶ تا ۷ بوده است. بیشترین جذب برای یون Cd(II) در مقادیر جذب ۱ گرم و ۲/۵ گرم به ترتیب ۷۹/۱ درصد و ۸۹/۲ درصد و برای Pb(II) ۷۳/۲ و ۶۹ درصد مشاهده گردید. از دیگر عوامل محیطی مؤثر در جذب این جلبک مدت زمان تماس جاذب و درجه حرارت محیط بوده است. با افزایش زمان از ۱۰ به ۴۰ دقیقه میزان جذب افزایش یافته و حداکثر جذب برای هر دو فلز در درجه حرارت بین ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی گراد مشاهده گردید. در این تحقیق اثر میزان غلظت بیومس جلبک در میزان جذب بررسی شد، که تغییر معنی دار در میزان جذب مشاهده نگردید. بررسیهای کینتیکی نیز نشان داد که معادله سرعت شبه درجه دوم برای هر دو فلز در مقادیر ۱ و ۲/۵ گرم بیومس جلبک به ترتیب با ثابت سرعت (کادمیوم، $1.2 \times 10^{-3} \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ، ۱۱/۱۴ و سرب $1.1 \times 10^{-3} \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ، ۸/۹۶) بوده است. کینتیک جذب دو کاتیون توسط سیستوسرا/ ایندیکا از مدل جذب کینتیکی درجه دوم پیروی می کند. نتایج نشان داده مدل فروندلیچ برای تفسیر تعادل جذب در مقایسه با مدل لانگموئر بهتر می باشد. آزمایشها نشان داد، جلبک سیستوسرا ایندیکا جاذب مناسب و مقرون به صرفه جهت جذب فلز کادمیوم و نیکل از آب می باشد.

واژه های کلیدی: جذب بیولوژیکی، جلبک سیستوسرا/ ایندیکا، کادمیوم، سرب، ایزوترم جذب.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۱۱۲۵۳۴۲۴۵۱، پست الکترونیکی: n.jafari@umz.ac.ir

مقدمه

کادمیوم، صنایع پالایش و ذوب سرب به کار می رود و به همین علت مقدار زیادی از آن از طریق پسابهای واحد های صنعتی به محیط زیست وارد می شوند (۱۴). فلزات سنگین به دلیل ویژگی بزرگنمایی زیستی خود می تواند به آسانی در اکوسیستمهای مختلف به پله های بالاتر زنجیره غذایی و در نهایت به بافتهای موجودات زنده از جمله انسان انتقال یابد. به همین دلیل وجود این ترکیبات شیمیایی خطرناک در محیط زیست همواره تهدید جدی

توسعه واحدهای صنعتی جهان در طول سالهای گذشته موجب ورود مقادیر زیادی از فلزات سنگین به محیط زیست شده است، که به دنبال آن مشکلات زیادی برای موجودات زنده به ویژه آبزیان به وجود آمد. کادمیوم و سرب که کاربرد های متفاوتی در صنایع دارند در غلظتهای کم، سمی و برای موجودات خطرناک هستند (۱۱). سرب و کادمیوم در صنایع مختلفی از جمله صنایع رنگ سازی، تولید پلاستیک و آلیاژهای فلزی، سرامیک و باتریهای

جذب با استفاده از معادلات سرعت درجه اول و درجه دوم مطالعه و همچنین چهار نوع از مدل‌های جذب دو پارامتری برای مدل سازی مقدار جذب کادمیوم و سرب در جرم‌های ۱ و ۲/۵ گرم جلبک سیستوسرا / ایندیکا استفاده گردید.

مواد و روشها

مواد شیمیایی و آماده سازی جلبک: برای تهیه محلول‌های حاوی یون کادمیوم (II) و سرب (II)، از نمک‌های $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ و $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ شرکت مرک MERCK استفاده شد. که برای تهیه محلول فلزی Cd(II) و Pb(II) به صورت PPM ۱۰۰۰، یک مقدار وزن شده از نمکها در آب مقطر دیونیزه حل گردید و برای تعیین غلظت دقیق محلولهای نمکی از دستگاه جذب اتمی استفاده شده است. برای بررسی اثرات pH، زمان، دما و غلظت اولیه محلول (۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی گرم بر لیتر)، ۱۰۰ سی سی محلول ppm ۱۰۰ از هر فلز در یک ارلن ۲۵۰ سی سی آماده شده و مقادیر مختلف بیومس خشک جلبک (۱ و ۲/۵ گرم) به آن اضافه و روی شیکر قرار می گیرد. بعد از عمل اختلاط و جذب مخلوط از کاغذ صافی عبور داده می شود. برای تعیین مقدار فلز جذب شده از دستگاه جذب اتمی GBS مدل Plus 932 استفاده شده است.

جلبک قهوه ای *Cystoseira indica* که از سواحل دریای عمان جمع آوری شده بود، در محل، با آب آشامیدنی شسته شده و به مدت چهار و هشت ساعت در معرض نور آفتاب، خشک شد. این جلبک، در آزمایشگاه به کمک آسیاب، خرد شده و با الک (۲۰۰ - RETSCH AS) به ذراتی با اندازه متوسط ۰/۵-۱ mm دانه بندی شد. سپس با آب دوباره تقطیر شده، شسته و مدت بیست و چهار ساعت در دمای ۸۰ درجه خشک شد. پس از خشک شدن، جلبک به هم می چسبد و ذرات بزرگتری ایجاد می شود که این امر به دلیل وجود اسیدهای آلزینات در جلبک و خاصیت چسبندگی اش است. بنابراین، لازم است جلبکها بعد از

برای سلامتی موجودات زنده و انسان به شمار می رود (۱۴). امروزه بهره برداری از جلبکها در ابعاد صنعتی، کشاورزی، دارویی و غذایی بسیار توسعه یافته و تکنولوژی مدرن برای تولید و بهره برداری از جلبکها در کشور های صنعتی و پیشرفته جهان مورد استفاده قرار می گیرد. در کشور ایران علی رغم وجود منابع عظیم جلبکی در دریای عمان، خلیج فارس، دریای مازندران و دیگر منابع آب شیرین بایستی اذعان نمود که دانش جلبک شناسی و نیز جنبه های اقتصادی، صنعتی و کاربردهای اکولوژیکی و زیستی محیطی آنها ناشناخته مانده و تاکنون پژوهشهای جامع و کاربردی در خصوص این موجودات انجام نگرفته است.

در حال حاضر حذف زیستی فلزات سنگین از فاضلابها و منابع آبی یکی از مهم ترین پژوهشهای جهانی در بخش محیط زیست می باشد که یک مکانیسم بسیار مؤثر در حذف آلاینده ها از محلولهای آبی است و از مهم ترین فواید تکنولوژی نوین جذب بیولوژیکی، می توان به کم هزینه بودن فرآیند، امکان تولید جاذب در مقادیر زیاد، کارایی بالا، عدم تولید لجن و کاربری آن در شرایط مختلف محیطی و امکان بازیافت فلزات، اشاره نمود (۱۶). فرآیند تصفیه زیستی آلاینده ها توسط موجودات مختلفی، از جمله جلبکها، باکتریها، قارچها، تک سلولها و پروتوزوآها انجام می گیرد (۷ و ۱۰) اما به دلیل وجود ترکیبات پلی ساکارییدی مانند آلزینات و کارازینتات در دیواره سلولی جلبکهای دریایی، آنها در مقایسه با سایر موجودات توانایی بالاتری در جذب بسیاری از فلزات دارند به همین علت در سالهای اخیر استفاده از جلبکها در فرآیند جذب زیستی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (۸).

هدف از این تحقیق، جداسازی یونهای کادمیوم (II) و سرب (II) توسط جلبک قهوه ای *Cystoseira indica* و تأثیر پارامترهای مختلف در میزان جذب می باشد. سینتیک

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad \text{«۴»}$$

که مقدار K_2 و q_e از محاسبه شیب و عرض از مبدا نمودار به دست می‌آید.

مدلهای ایزوترم جذب زیستی: مدل‌های ایزوترم، نتایج آزمایشی را در قالب فرمولهای کاربردی با پارامترهای مفید در می‌آورد، به طوری که در طراحیها به راحتی قابل استفاده باشند. به عبارت دیگر، ایزوترم جذب نموداری از میزان جذب (q_e) و غلظت تعادلی فلز (C_e) است. مدل‌های ایزوترم جذب تعادلی دو پارامتری، شامل ایزوترمهای لانگمویر، فرویندلیش، تمکین و دوینین-رادوشکویچ در این مطالعه استفاده شده است.

نتایج و بحث

اثر pH: یکی از پارامترهای مهم که در جذب زیستی فلزات سنگین تأثیر قابل ملاحظه ای می‌گذارد، pH اولیه محلول است. اثر pH روی جذب فلزات توسط جلبک مورد مطالعه گرفت و نتایج حاصل حاکی از آن است که pH های خیلی پایین و خیلی بالا منجر به کاهش میزان جذب می‌شوند (۱۴). شکل ۱ نشان می‌دهد حداکثر حذف فلز Cd(II) و Pb(II) از محلول توسط بیومس در حد فاصل pH ۶ تا ۷ می‌باشد که برای فلز کادمیوم حداکثر حذف در این حد فاصل برای مقادیر جذب ۱ و ۲/۵ گرم به ترتیب ۷۹/۱ درصد و ۸۹/۲ درصد و برای فلز سرب ۷۳/۲ درصد و ۶۹ درصد به دست آمده است. در مقادیر pH پایین تر، بین یونهای مثبت H⁺ و یون فلزی برای اتصال به سطح جاذب رقابت به وجود می‌آید. در نتیجه میزان حذف فلز در pH های پایین کم است. به عبارت بهتر، در pH های پایین یونهای مثبت H⁺ بر روی سایت‌های جذب، غلبه کرده و دسترسی کاتیونها به این سایتها در نتیجه نیروی دفعه محدود و سبب کاهش درصد جذب می‌شود. با افزایش pH، جذب نیز افزایش می‌یابد که می‌توان گفت در این محدوده (خنثی و اسیدی ضعیف) اکثر فلزات، به صورت

خشک شدن کامل، دوباره با دستگاه الک، به همان اندازه قبل، دانه بندی شوند. در این تحقیق از دستگاه اسپکتروفوتومتری جذب اتمی (AAS) مدل SpectrAA.20 از شرکت Varian جهت تعیین غلظت کادمیوم و سرب در محلولها و برای تعیین مقدار pH محلول از دستگاه Metrohm استفاده شده است.

مطالعه مدل‌های سینتیکی: سینتیک جذب، برای بررسی فرآیند کنترل کننده در سیستم جذب زیستی مانند انتقال جرم و پیشرفت واکنشهای شیمیایی به کار می‌رود. این مدلها شامل معادلات درجه اول و دوم می‌باشد که به صورت زیر است (۲ و ۳).

$$dq/dt = K_1(q_e - q_t) \quad \text{«۱»}$$

که در این معادله K_1 ثابت سرعت جذب بیولوژیکی بر حسب min^{-1} و q_e و q_t به ترتیب میزان جذب فلز در زمان تعادل و زمان t بر حسب mg/g بوده، با لگاریتم گیری از رابطه فوق معادله زیر به دست می‌آید:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K_1 t}{2.303} \quad \text{«۲»}$$

از برازش خطی این معادله بر داده های آزمایشی، می‌توان مقدار q_e و K_1 را به دست آورد. برای به دست آوردن نقاط، حداکثر مقدار q_e از داده های تجربی برای کادمیوم و سرب به ترتیب برابر $14/32 \text{ mg/g}$ و $10/51$ در جرمهای $2/5$ گرم جلبک به دست آمد.

در مدل شبه درجه دوم که آن را به شکل زیر نشان می‌دهند:

$$dq_t/dt = K_2(q_e - q_t) \quad \text{«۳»}$$

که در این معادله K_2 ثابت سرعت واکنش درجه دوم بر حسب g/mg.min است. q_e و q_t همانند معادله شبه درجه اول هستند. با انتگرال گیری از معادله ۳، رابطه زیر به دست می‌آید.

می دهد با افزایش زمان، میزان جذب به طور قابل ملاحظه ای زیاد می شود (۱).

اثر دما در جذب: شکل ۳ نشان می دهد که با افزایش دما مقدار جذب افزایش می یابد. زیرا با افزایش دما تعداد برخوردها بین ذرات و سطح جاذب زیاد شده و میزان جذب افزایش می یابد (۹).

ایزوترمهای جذب سطحی: مدل‌های ایزوترم دو پارامتری با داده های به دست آمده از آزمایشها همخوانی دارد و محاسبات ریاضی نشان می دهد جذب از هر چهار مدل پیروی می کند.

مدل لانگمویر (Langmuir): جدول ۱ ایزوترم جذب سطحی Langmuir را برای هر دو فلز نشان می دهد.

معادلات Langmuir بدین صورت می باشد:

$$q_e = q_{\max} \frac{bC_e}{1 + bC_e} \quad (5)$$

در این مدل، C_e غلظت تعادلی فلز در محلول (mg/l)، q_e میزان فلز جذب شده از محلول (mg/g) در حالت تعادل، q_{\max} بیانگر تعداد کل سایتهای جاذب زیستی است که برای پیوند با فلزات در دسترس هستند. b ثابت تعادل جذب و نشان دهنده میل ترکیبی جاذب با جذب شونده است. معادله لانگمویر به صورت زیر به شکل خطی در می آید:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m b C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (6)$$

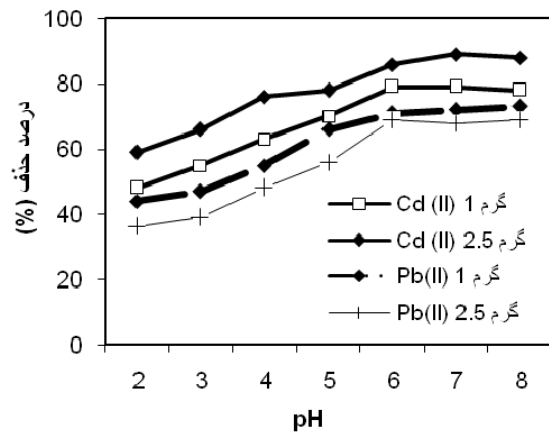
مدل فریندلچ (Freundlich): جدول ۱ ایزوترم جذب

سطحی Freundlich را برای هر دو فلز نشان می دهد.

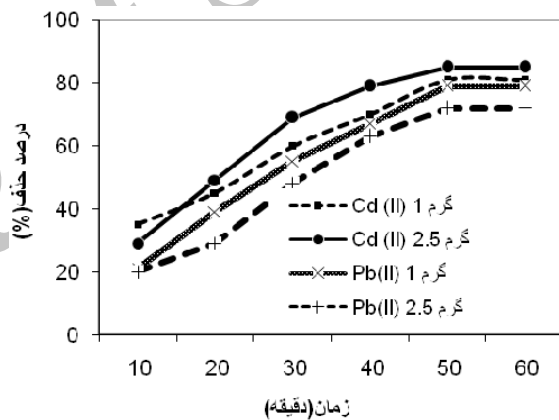
معادله Freundlich به شکل زیر است:

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (7)$$

کاتیونهای محلول و آزاد برای جذب در دسترس قرار دارند (۵).

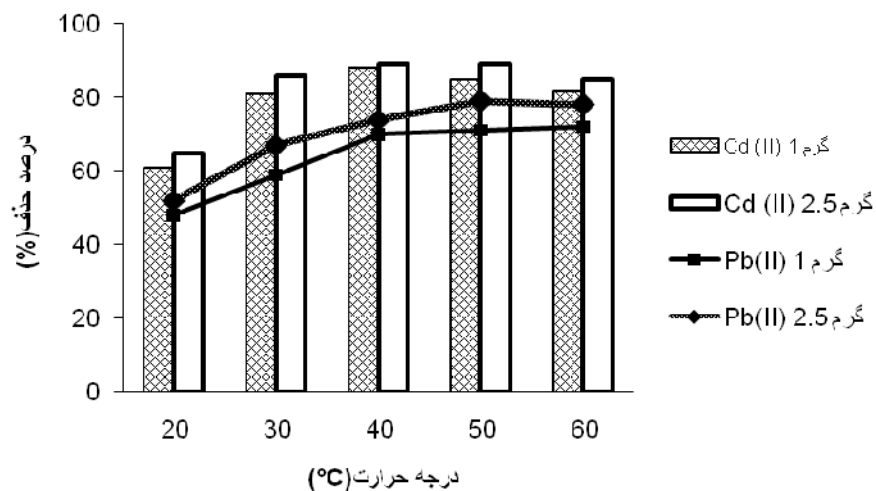


شکل ۱- اثر pH بر میزان درصد حذف Cd(II) و Pb(II) توسط مقادیر مختلف جلبک *Cystoseira indica*



شکل ۲- اثر زمان بر میزان درصد حذف Cd(II) و Pb(II) در pH=7 توسط مقادیر مختلف جلبک *Cystoseira indica*

اثر زمان تماس در جذب: شکل ۲ نشان می دهد در ۴۰ دقیقه اول تماس، میزان جذب افزایش چشمگیری با گذشت زمان دارد و بعد از گذشت زمان بیش از ۵۰ دقیقه میزان جذب تغییر قابل ملاحظه ای با گذشت زمان ندارد. در این تحقیق نتایج کاملاً مشابهی در جذب هر دو فلز بر حسب زمان مشاهده گردید. مطالعات گذشته نشان می دهد که سرعت بیولوژیکی و زمان جذب به میزان غلظت اولیه بستگی ندارد (۱۲ و ۱۵). برخی از تحقیقات انجام شده در مورد جذب فلز کبالت توسط *Gracilaria corticota* نشان



شکل ۳- اثر تغییرات دما در جذب سطحی Cd(II) و Pb(II) توسط مقادیر مختلف جلبک *Cystoseira indica*

جدول ۱- پارامترهای ایزوترمی به دست آمده برای جذب کادمیوم و سرب توسط مقادیر متفاوت جلبک *Cystoseira indica*

Pb(II)	Cd(II)	پارامترها	جرم جلبک	ایزوترمهای تعادلی
18.32	21.61	q_{max} (mg/g)	۱ گرم	Langmuir
0.112	0.162	b (L/mg)		
0.95	0.97	R^2		
20.14	23.11	q_{max} (mg/g)	۲.۵ گرم	Langmuir
0.015	0.214	b (L/mg)		
0.99	0.98	R^2		
0.362	0.411	K_F (L/g)	۱ گرم	Freundlich
3.156	2.134	n		
0.97	0.96	R^2		
0.414	0.253	K_F (L/g)	۲.۵ گرم	Freundlich
2.636	3.912	n		
0.97	0.97	R^2		
21.175	43.112	q_{DR} (mg/g)	۱ گرم	Dubinin-Radushkevich
0.006	0.009	B_{DR}		
0.91	0.86	R^2		
28.612	36.257	q_{DR} (mg/g)	۲.۵ گرم	Dubinin-Radushkevich
0.008	0.0006	B_{DR}		
0.87	0.89	R^2		
2.141	0.641	b_T (J/mol)	۱ گرم	Temkin
0.032	0.052	A_T (L/g)		
0.94	0.96	R^2		
3.215	1.312	b_T (J/mol)	۲.۵ گرم	Temkin
0.056	0.063	A_T (L/g)		
0.98	0.97	R^2		

جدول ۲- مقایسه بین پارامترهای سرعت جذب مدل‌های سینتیکی شبه درجه اول و دوم و همچنین مقایسه q_e تجربی با q_e محاسبه شده در مقادیر

متفاوت جلبک *Cystoseira indica*

مدل شبه درجه دوم			مدل شبه درجه اول			پارامترها			
R^2	q_e (mg/g)	$K_2(\times 10^{-3})$	R^2	q_e (mg/g)	$K_1(\times 10^{-3})$	q_{exp} (mg/g) تجربی	غلظتهای معلوم (mg/L)	جرم جلبک	فلز
0.99	2.14	2.10	0.99	0.95	2.11	1.18	۴۰	۱ گرم	Cd(II)
0.99	8.12	3.21	0.86	5.14	۵,۳۲	6.99	۸۰		
0.83	4.15	12.1	0.91	6.45	۷,۱۲	4.25	۱۲۰		
0.84	3.21	11.14	0.95	3.24	3.94	4.11	۴۰		
0.92	15.14	8.61	0.98	2.65	۲,۱۴	14.32	۸۰		
0.89	5.32	5.69	0.85	3.47	۵,۳۲	8.91	۱۲۰		
0.98	2.11	1.97	0.96	1.12	2.32	2.11	۴۰	۱ گرم	Pb(II)
0.99	5.63	4.14	0.85	3.21	4.65	4.61	۸۰		
0.85	5.11	8.96	0.94	8.74	10.24	3.99	۱۲۰		
0.91	6.47	7.32	0.92	6.16	4.18	4.32	۴۰		
0.95	12.41	9.16	0.88	3.15	5.63	10.51	۸۰		
0.96	7.55	7.15	0.91	5.97	6.61	6.99	۱۲۰		

گرم و مجذور مول بر مجذور کیلوژول بیان می شوند. در این معادله ϵ_{DR} پتانسیل پولانی است.

مدل تمکین **Temkin**: جدول ۱ ایزوترم جذب سطحی Temkin را برای هر دو فلز نشان می دهد.

معادله تمکین به شکل زیر است.

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln(A_T C_e) \quad (10)$$

که b_T ثابت تمکین است و با واحد ژول بر مول بیان می شود و با گرمای جذب، رابطه دارد. A_T ثابت ایزوترم تمکین با واحد لیتر بر گرم، R ثابت جهانی گازها $J.K^{-1}.mol^{-1}$ ($R=8,314472$) و T دمای مطلق بر مبنای کلونین است.

مدلهای ایزوترم جذب تعادلی دو پارامتری، شامل ایزوترمهای لانگمویر، فرویندلیش، تمکین و دوینین-

در این مدل، C_e غلظت تعادلی فلز در محلول (mg/l)، q_e میزان فلز جذب شده از محلول (mg/g) در حالت تعادل، K_f و n ثابتهای جذب فریندلیچ می باشد (۱۳). فرم لگاریتمی معادله فریندلیچ به صورت زیر است.

$$\log(q_e) = 1/n \log(C_e) + \log(K_f) \quad (8)$$

مدل دوینین - رادشکوویچ **Dubinin-Radushkevich**:

جدول ۱ ایزوترم جذب سطحی Dubinin-Radushkevich را برای هر دو فلز نشان می دهد.

معادله دوینین-رادشکوویچ به شکل زیر است:

$$q_e = q_{DR} \exp(-B_{DR} \epsilon_{DR}^2) \quad (9)$$

$$\epsilon_{DR} = RT \ln\left(1 + \frac{1}{C_e}\right)$$

در این معادله q_{DR} و B_{DR} ، ثابتهای مدل دوینین-رادشکوویچ هستند که به ترتیب با واحدهای میلی گرم بر

نتیجه‌گیری

جذب سطحی فلز به وسیله جاذب هی زیستی به عنوان یک فرآیند مؤثر در حذف یونهای فلزات سنگین از محلولهای آبی به شمار می‌رود. در این تحقیق اثر جاذب جلبک قهوه ای سیستوسرا/ ایندیکا در جذب کاتیونهای کادمیوم و سرب با توجه به اثر شرایطی مختلف محیطی مانند pH، دما، زمان تماس و مقادیر مختلف جاذب مورد بررسی قرار گرفت. pH به عنوان یکی از عوامل مهم در مقدار جذب تأثیر محسوسی داشته و میزان pH مطلوب برای جلبک قهوه ای *Cystoseira indica* برای هر دو فلز 7 = pH به دست آمده است. به طور کلی می‌توان بیان نمود بیشترین جذب سطحی هر دو فلز در دامنه pH بین 6-7 مشاهده شده است، که دلیل آن خروج هر دو فلز به شکل رسوب هیدروکسید از محلول در pH بالا می‌باشد (۶).

سرعت جذب با افزایش زمان از ۱۰ به ۴۰ دقیقه افزایش می‌یابد. بر اساس داده‌های حاصل از این تحقیق می‌توان به این نتیجه رسید که مقادیر مختلف جاذب تأثیر محسوسی در میزان جذب هر دو فلز توسط جلبک نمی‌گذارد. هر چند بیشترین جذب برای هر دو فلز در میزان ۲/۵ گرم جاذب به دست آمد، ولی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با افزایش دما درصد جذب هر دو فلز افزایش می‌یابد، افزایش دما باعث افزایش انرژی جنبشی ذرات کاتیونهای موجود در محلول می‌شود که این تغییر باعث انتقال سریع‌تر و برخورد بیشتر آنها با جاذب، و در نتیجه باعث افزایش میزان جذب می‌شود. مطالعات سینتیکی این تحقیق نشان داد که داده‌های آزمایشگاهی هر دو فلز با مدل سینتیکی درجه دوم بهتر پیروی می‌نمایند و داده‌های ایزوترمهای تعادلی هر دو فلز نشان می‌دهد که مدل ایزوترم لانگمویر بهتر از سایر ایزوترمهای دو پارامتری جذب زیستی را محاسبه نموده است. در نهایت با مطالعه جذب زیستی جلبک قهوه ای *Cystoseira*

رادوشکوویچ بر داده‌های حاصل از آزمایشهای جذب ایزوترم برازش داده شدند و ثابتهای هر مدل همراه با ضرایب همبستگی آنها در جدول ۲ نشان داده شده است. از بررسی مدل‌های ایزوترمهای جذب سطحی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در میان مدل‌های ایزوترم دو پارامتری، مدل ایزوترم لانگمویر و مدل تمکین بهتر از سایر مدل‌ها جذب زیستی را توصیف می‌نمایند. مطالعه ضرایب همبستگی چهار نوع مدل‌های ایزوترم نشان می‌دهد مدل‌های Langmuir ($R^2=0.99$) و Temkin ($R^2=0.98$) بیشتر از مدل‌های Freundlich و Dubinin-Radushkevich جذب بیولوژیکی را محاسبه نمود و حداکثر جذب کادمیوم و سرب از مدل لانگمویر به دست آمد، که به ترتیب معادل ۲۳/۱۱ و ۲۰/۱۴ mg/g بود. مقدار b در مدل ایزوترم لانگمویر برای کادمیوم و سرب به ترتیب برابر با ۰/۱۶۲ و ۰/۱۱۲ در مقادیر ۱ گرم بیومس و ۰/۲۱۴ L/mg و ۰/۰۱۵ در غلظت ۲/۵ گرم بیومس به دست آمد.

نتایج مطالعه سینتیکی: میزان K_1 ، K_2 ، q_{exp} و q_e در هر دو مدل سینتیکی در جدول ۲ نشان داده شده است. مطالعه سینتیک جذب فلز به وسیله جلبک *Cystoseira indica* نشان داد که داده‌های تجربی هر دو فلز، با مدل سینتیکی درجه دوم، بهتر از مدل سینتیکی درجه اول بوده است. تغییرات غلظت بیومس نوسانات زیادی را در جذب به وجود نمی‌آورد. نتایج حاصل از مطالعات دیگر محققان نشان می‌دهد که افزایش غلظت بیومس خشک شده در محلول باعث می‌شود ذرات بیومس پودر شده به یکدیگر بچسبند و مانع دسترسی فلز به سطوح فعال بیومس شوند، لذا افزایش غلظت بیومس تأثیر چندانی در جذب نخواهد داشت (۴). حداکثر مقدار ثابت تعادلی واکنش شبه درجه دوم برای کادمیوم و سرب در جرمهای ۱ گرم و ۲/۵ گرم جلبک به ترتیب برابر با 1.21×10^{-3} ، 1.21×10^{-3} g mg⁻¹ min⁻¹، 1.21×10^{-3} و 1.11×10^{-3} (کادمیوم) و 8.96×10^{-3} ، 9.16×10^{-3} (سرب) بوده است.

وجود میزان بالایی از ترکیبات آلزینات در سطوح آنها بهتر از دیگر جاذب‌های زیستی، پتانسیل جذب آلاینده‌های زیست محیطی را دارد.

indica می‌توان به این نتیجه رسید که اگر این جلبک به عنوان جاذب استفاده شود جاذب خوبی برای حذف فلزات سنگین از اکوسیستم‌های آبی خواهد بود و نیز به دلیل

منابع

- اسماعیلی، بی‌رامی، ی، روستائیان، ع، بی‌رامی (۱۳۸۹). بررسی جذب بیولوژیکی یون Co(II) از محلول آبی توسط جلبک گراسیلاریا. علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۱، صفحه: ۲۱-۲۸.
- Chen Z, Ma W, Han M (2008) Biosorption of nickel and copper onto treated alga (*Undria Pinnatifida*): Application of isotherm and kinetics study. *Journal of Hazardous Material*, 155: 327-333.
- Cruz CCV, Costa ACA, Henriques, CA, Luna AS (2004) Kinetic modeling and equilibrium studies during cadmium biosorption by dead *Sargassum* sp. biomass. *Bioresource Technology* 91: 249-257.
- Ekmekyapar F, Kemal Bayhan Y, Cakici A (2006) Biosorption of copper by nonliving lichen biomass of *Cladonia rangiformis* Hoffm. *Journal of Hazardous Material*, 137: 293-298.
- Esteves, AJP, Valdman E, Leite SGF(2000). Repeated removal of cadmium and zinc from an industrial effluent by waste biomass *Sargassum* sp. *Biotechnology Letters*, 22: 499-502.
- Ghasemi M, Keshtkar AR, Dabbagh R, Jaber Safdari S (2011) Biosorption of uranium in a continuous flow packed bed using *Cystoseira indica* biomass. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 8:65-74
- Hansen HK, Ribeiro A, Mateus E (2006) Biosorption of arsenic (V) with *Lessonia nigrescens*. *Mineral Engineering* 19(5): 486-490.
- Holan, ZR, Volesky B, Prasetyo I(1993) Biosorption of cadmium by biomass of marine algae. *Biotechnologie. Bioengineering*. 41: 819-825.
- Holan Z.R., Volesky B (1995) Accumulation of cadmium, lead, and nickel by fungal and wood., B., biosorbents. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 53:133-146.
- Iyer, A, Mody K, Jha B(2005) Biosorption of heavy metals by a marine bacterium. *Marine Pollutant Bulletin* 50(3): 340-343.
- Kapoor A, Viraraghavan, T (1997) Biosorption of heavy metals on *Aspergillus Niger*: Effect of pretreatment. *Bioresource Technology* 63: 109 - 113.
- Sag Y, Acikel U, Aksu Z, Kutsal T (1998) A comparative study for the simultaneous biosorption of Cr (VI) and Fe (III) on *Calluna vulgaris* and *Rhizopus arrhizus*: application of the competitive adsorption models. *Process Biochemistry*, 33(3): 273-281.
- Sheng PX, Ting YP, Chen JP, Hong L(2004) Sorption of lead, copper, cadmium, zinc, and nickel by marine algal biomass: characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms. *Journal of Colloid and Interface Science*, 275: 131-141.
- Tunali S, Akar T, Ozcan AS, Kiran I, Ozcan A(2006) Equilibrium and kinetics of biosorption of lead (II) from aqueous solutions by *Cephalosporium aphidicola*. *Separation and Purification Technology*. 47(3): 105-112.
- Ulku Y., Ayla D, Filiz BD, Gulay O(۲۰۰۰) The removal of Pb by *Phanerochaete chrysosporium*. *Water Research*, 34(16): 4090-4100.
- Xeu HB, Stumm W, Sigg L (1988) The binding of heavy metal to algal surface. *Water Research*, 22: 917-922.

Adsorption of cadmium and lead ions from aqueous solution by brown algae *Cystoseira indica*

Jafari N.^{1,*} and Ahmadi asbchin S.²

¹ Biology Dept., Faculty of Basic Science, University of Mazandaran, Babolsar, I.R. of Iran

² Molecular and Cellular Biology Dept., Faculty of Basic Science, University of Mazandaran, Babolsar, I.R. of Iran

Abstract

This research aims at investigating the biosorption of cadmium and lead cations from aqueous solution using brown alga, *Cystoseira indica*. Adsorption capacity of this alga affected on pH concentration, when pH of solution increases, the amount of both metals adsorptions by alga rise. Generally, the most suitable pH for biosorption of the alga ranges between 6 and 7, more specifically, the maximum adsorption rate for Cd (II) and Pb (II), for 1 g and 2.5 g were 79.1%, 89.2% and 73.2%, 69. % respectively. The other environmental factors which influence the adsorption of this alga include the time of adsorbent contact and environment temperature, when time increased from 10 to 40 minutes, the amount adsorption increased too. The maximum capacities of adsorption for both metals were in temperatures between 40 and 50 °C. This research also examined the effect of biomass concentration alga on the adsorption capacity. The obtained results indicated that there was no significant change in adsorption capacity. In addition, kinetic investigations showed that speed pseudo-second-order model equation of both metals for 1 and 2.5 g of alga biomass with constant speed were 11.14, 12.1*10⁻³ g mg⁻¹ min⁻¹ and 12.41, 8.96*10⁻³ g mg⁻¹ min⁻¹ for cadmium and lead respectively. The results show that kinetic data follow speed pseudo-second-order model. Experimental equilibrium data was fitted by Freundlich isotherm more than Langmuir isotherm. The results show that the alga *Cystoseira indica* can be used for treatment of aqueous solutions containing cadmium and lead as a low cost adsorbent.

Key words: adsorption, alga *Cystoseira indica*, cadmium, lead, adsorption isotherm