

# SID



ابزارهای  
پژوهش



سرویس ترجمه  
تخصصی



کارگاه های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری  
STES



فیلم های  
آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقالات ISI

آموزش مهارت های کاربردی  
در تدوین و چاپ مقالات ISI



روش تحقیق کمی

روش تحقیق کمی



آموزش نرم افزار Word برای پژوهشگران

آموزش نرم افزار Word  
برای پژوهشگران

جذب زیستی فلز سنگین نیکل از آب توسط جلبک بومی *Chaetomorpha sp* و تعیین شرایط بهینه  
جذب با روش پاسخ سطحی (RSM)

نویسندگان :

غلامرضا تلیان<sup>۱</sup> - مهدی محمدی<sup>۲</sup> - مریم محمدی روزبهانی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم محیط زیست - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان

۲- استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه خلیج فارس بوشهر

۳- استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان

[1-gh.tolian@yahoo.com](mailto:1-gh.tolian@yahoo.com)

[2- mehdimohammady@gmail.com](mailto:2-mehdimohammady@gmail.com)

[3-mmohammadirozbahani@yahoo.com](mailto:3-mmohammadirozbahani@yahoo.com)

## چکیده:

در این مطالعه جذب زیستی یون فلزی نیکل توسط جلبک دریایی کتومورفا مورد بررسی قرار گرفت. روش مورد استفاده برای بررسی تاثیر متغیرهای دما، وزن جاذب و pH بر جذب زیستی این فلزی و تعیین شرایط بهینه جذب روش پاسخگویی سطحی یا RSM بود. از مدل باکس - بنکن برای طراحی شرایط آزمایش استفاده گردید. از دو مدل ایزوترم فرنرندلیچ و لانگمویر برای تعیین مکانیسم جذب و بیشترین مقدار جذب یون فلزی استفاده شد. بیشترین مقدار جذب نیکل در شرایط بهینه دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، مدت زمان ۶۰ دقیقه، مقدار جاذب ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر جلبک و pH برابر ۴/۹، برابر با ۸۷/۹۷ درصد بدست آمد. در این مطالعه مشخص شد که جذب یون فلزی نیکل توسط جلبک کتومورفا از مدل فرنرندلیچ پیروی می کند. بیشترین مقدار جذب زیستی یون کادمیم توسط جاذب کتومورفا برابر با ۱۶۶/۶۶ میلی گرم بر گرم وزن خشک جلبک محاسبه گردید. در این مطالعه مشخص گردید که جلبک سبز کتومورفا کارایی و توانایی بالایی در حذف فلز سنگین کادمیم از محلولهای آبی را دارد.

واژه های کلیدی: جذب زیستی، جلبک کتومورفا، روش پاسخ سطحی، فرنرندلیچ، لانگمویر.

## ۱- مقدمه:

آلودگی محیط زیست آبی یک مساله روز جهانی است که به واسطه فعالیتهایی مانند بهره برداری از معادن، توسعه تکنولوژیها، صنعتی شدن و شهرنشینی در زیست کره، پیوسته در حال افزایش است. (رستمی و جودکی، ۲۰۰۲، پول و همکاران، ۲۰۰۶). به علت پایداری زیست محیطی فلزات سنگین و افزایش استفاده از این مواد، همچنین توانایی تجمع زیستی در زنجیره غذایی و قابلیت انتقال به انسان، مشکل آلودگی حاصل از آنها یکی از مهمترین معضلات زیست محیطی بشر "به خصوص در محیطهای آبی" شده است (وانگ و چن، ۲۰۰۶).

نیکل یکی از این فلزات سنگین بوده که از طریق پساب های فرایندهای صنعتی به محیط زیست وارد می شود. قرار گرفتن در معرض نیکل باعث بیماریهایی از قبیل اختلال در عملکرد کلیه، دستگاه گوارش، صدمه به کبد، و آلرژیهای شدید پوستی، مرگ جنین و سرطان ریه می گردد. سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا حداکثر مقدار مجاز نیکل را در آب آشامیدنی برابر ۰/۱ میلی گرم بر لیتر اعلام کرده است (شنگ و همکاران، ۲۰۰۴). از آن جا که فلزات سنگین در طبیعت از بین نمی روند، نیاز به تکنولوژی هایی است که آن ها را حذف و از پساب جدا کند. در حال حاضر، روش هایی مثل رسوب شیمیایی، تبخیر، جذب و تبادل یونی، برای تصفیه جریان های پساب حاوی فلز سنگین به کار می روند؛ اما این روش ها، دارای معایبی هستند که عبارتند از: هزینه های عملیاتی بالا، محدودیت در انتخاب، حذف

ناقص یون فلزی، ناکارآمدی برای فاضلابهایی که غلظت یون فلزی در آن پایین است (هیرو و همکاران، ۲۰۰۶. لودریا و همکاران، ۲۰۰۵. صدیقی و همکاران ۲۰۱۲).

یکی دیگر از روش های حذف فلزات سنگین جذب زیستی می باشد. در این فرایند از موادی با منشاء طبیعی به منظور جداسازی فلزات سنگین از محیط آبی استفاده می شود (یانگ، ۱۹۹۹). جذب زیستی تکنولوژی نوینی است که بیومس مرده و غیرفعال را برای حذف فلزات سنگین از محلول آبی به کار می گیرد (رومرو و همکاران، ۲۰۰۷). بسیاری از مطالعات اولیه نشان داده که زیست توده غیرزنده ممکن است حتی موثرتر از سلول های زنده در جذب عناصر فلزی می باشند. از آنجا که این مواد اساساً مرده هستند لذا نیاز به هیچ گونه تغذیه برای حفظ زیست توده وجود ندارد همچنین هیچگونه نگرانی درباره تاثیر سمیت فلز بر روی زندگی بیوماس نمی باشد و نیاز به فراهم کردن شرایط مناسب برای رشد بیومس نیز وجود ندارد (شنگ و همکاران، ۲۰۰۴).

زمانی که فرایند جذب یون فلزی مستقل از متابولسیم باشد، جذب فلز نتیجه ی برهم کنش بین فلز و گروههای عاملی حاضر در سطح دیواره سلول خواهد بود. گروههای عاملی مانند کربوکسیل، سولفات، فسفات و آمین به عنوان جایگاهی برای جذب فلزات می باشند (ساری و توزن، ۲۰۰۸. کیوکاک و وولسکی، ۱۹۸۸). جلبک ها، باکتری ها و قارچ ها از جمله گونه هایی هستند که به عنوان جاذب هایی برای جذب زیستی فلزات سمی از محلول آبی استفاده میگردند (هولن و وولسکی، ۱۹۹۴). جذب زیستی دارای مزیت هایی است که عبارتند از: هزینه پایین، کارایی بالا، عدم نیاز زیاد به مواد مغذی، احیاء جاذب، به حداقل رساندن تولید لجن شیمیایی، فراوانی و در دسترس بودن جاذب، امکان باز یافت فلز (نیرمال کومار و همکاران، ۲۰۰۹). مطالعات نشان داده است که، جلبک ها نسبت به سایر زیست توده ها توانایی بالایی در جذب یونهای فلزی دارند و در میان گونه های مختلف آنها، جلبک های قهوه ای نسبت به جلبک های سبز و قرمز کارآمد تر عمل می کنند و از ظرفیت جذب بیشتری برخوردار می باشند (دیویس و همکاران، ۲۰۰۷). استان بوشهر به دلیل همجواری بودن در کنار دریا و داشتن مرز ساحلی فراوان، یکی از منابع عظیم جلبکی بوده و تهیه این زیست توده به عنوان جاذب، راحت و آسان و اقتصادی می باشد.

در این تحقیق از جلبک بومی *Chaetomorpha sp* برای حذف فلز سنگین نیکل از محلول آبی استفاده گردید. یک طراحی آزمایش با استفاده از روش آماری RSM و نوع طراحی box-behnken انجام شد و سه فاکتور دما، pH و مقدار جاذب مورد بررسی قرار گرفت. میزان تاثیرات هر فاکتور بر مقدار جذب فلز توسط بیوجاذب بررسی و شرایط بهینه حذف هر فلز بصورت جداگانه با استفاده از این روش مشخص شد. تحت این شرایط بهینه دو مدل ایزوترم تعادلی لانگمویر و فروندلیچ بررسی شد.

## ۱- مواد و روشها

### ۱-۲- تهیه محلول فلز سنگین

محلولهای فلزی نیکل و کادمیم توسط حل کردن مقدار مشخصی از نمکهای  $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  و  $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  در آب مقطر بدست آمدند. نمکهای مورد استفاده همگی از شرکت Merck آلمان تهیه شده بود. در این آزمایش از محلول اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال، و هیدروکسید سدیم ۱ نرمال، برای تنظیم اسید و باز محلول فلزی استفاده شد. ظروف شیشه ای مورد استفاده قبل از استفاده مجدد با محلول اسید نیتریک ۱۰ درصد شسته و با آب مقطر آب کشی گردید.

## ۲-۲- تهیه بیوجاذب

جلبک سبز *Chaetomorpha sp* برای این مطالعه استفاده گردید. نمونه ها از سواحل شهرستان بوشهر در فصل بهار ۱۳۹۱ جمع آوری گردید. نمونه های جمع آوری شده در ابتدا با آب لوله خوب شسته شده تا شن و ماسه و رسوبات دریا از آن جدا گردد و سپس دو بار با آب مقطر شستشو شدند. سپس نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با درجه حرارت ۶۰ درجه سانتی گراد خشک شدند (لودریا و همکاران، ۲۰۰۵). پس از آن، توسط خردکن، پودر و از مش  $35 \mu m$  عبور داده شدند. ساری و توزن (۲۰۰۸). تا ذرات یکنواخت حاصل گردد. در نهایت در ظرف شیشه ای ذخیره و درون محفظه آلومینیومی پوشیده شدند

## ۲-۳- آزمایشات جذب

آزمایشات جذب درون ارلن مایرهای ۱۰۰ میلی لیتری که حاوی مقادیر مختلفی از یون فلزی بود درون شیکر انکوباتور (با مارک IKA ks 130basic ساخت آلمان) با سرعت ۱۸۰ دور در دقیقه انجام گرفت. آزمایشات جذب یون فلزی برای بدست آوردن زمان بهینه تماس و آزمایشات تاثیر عاملهای مختلف بر جذب همگی درون غلظت ۱۰۰ PPM یون فلزی انجام گرفت. سپس برای مشخص کردن میزان جذب از دستگاه پمپ خلاء و کاغذ صافی برای صاف کردن استفاده شد. میزان غلظت یون فلزی توسط دستگاه جذب اتمی مارک pg مشخص گردید. هر آزمایش سه بار تکرار گردید. و نتایج بصورت میانگین گزارش گردید. برای تعیین درصد یون فلزی برداشت شده از معادله شماره ۱ استفاده شد:

$$\%R = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

در اینجا R درصد برداشت فلز،  $C_i$  و  $C_e$  به ترتیب برابر با غلظت اولیه فلز و غلظت نهایی فلز برحسب میلی گرم برلیتر می باشد. آزمایشات زمان تعادلی یونهای فلزی در سه غلظت متفاوت ۲۰، ۱۰۰، و ۲۰۰ ppm در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، مقدار جاذب ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر و pH برابر ۶ در مدت ساعت ۱۲۰ دقیقه انجام گرفت. تاثیر عوامل مختلفی چون pH، وزن جاذب و دما بر روی میزان جذب یون فلزی درون محلولهای فلزی با غلظت ۱۰۰ ppm اندازه گیری شد. و شرایط بهینه به روش پاسخگویی سطحی (RSM) مشخص گردید. در این مطالعه ما از روش پاسخگویی سطحی (RSM) برای تجزیه و تحلیل داده ها استفاده کردیم، که یک مجموعه از تکنیک های آماری برای طراحی آزمایش و ارزیابی تأثیر عوامل مختلف و

بدست آوردن شرایط بهینه برای آزمایش می باشد (راجاسیمان و موروگایان، ۲۰۱۰). معادله درجه دو استفاده در این روش در معادله شماره ۲ نشان داده شده است.

$$\%Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=2}^k \beta_{ij} |X_i X_j|$$

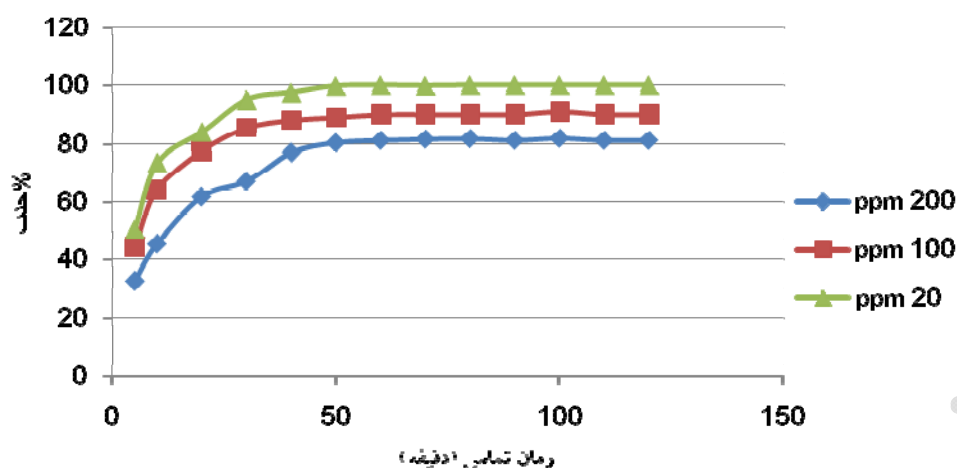
(۲)

در این مدل،  $Y$  مقدار یون فلزی برداشت شده به درصد و تئوری  $\beta_0$ ،  $\beta_i$ ،  $\beta_{ii}$ ،  $\beta_{ij}$  که ضرائب تخمین زده شده از رگرسون می باشد. و  $X_i$  و  $X_j$  که مقادیر انتخاب شده برای آزمایش (منظور همان پارامترهای دما، pH، مقدار جاذب) می باشد. برای تعیین مدل بهینه جذب یونهای نیکل و کادمیم توسط جلبک *Enteromorpha sp* نیز از دو مدل لانگمویر و فرندلیچ استفاده گردید. مدل های ایزوترم، نتایج آزمایشی را در قالب فرمول های کاربردی با پارامترهای مفید درمی آورد به طوری که در طراحی ها به راحتی قابل استفاده باشند (منتظررحمتی و همکاران، ۲۰۱۱). آزمایشات جذب درون غلظتهای متفاوتی از محلول یون فلزی از ۵۰ تا ۳۵۰ ppm در شرایط بهینه بدست آمده درون ارلنهای ۱۰۰ سی سی انجام گرفت.

## ۱- نتایج

### ۳-۱- تعیین زمان تعادلی جذب

در این آزمایش پس از بررسی میزان و درصد جذب فلز نیکل توسط جلبک *Chaetomorpha sp* دیده شد که بعد از گذشت ۶۰ دقیقه فرایند جذب به تعادل رسیده و بعد از آن افزایش جذبی صورت نمی گیرد. داده های مربوط به درصد جذب در نمودار ۳-۱ نشان داده شده است. پس نتیجه میگیریم که زمان تعادلی جذب کادمیم توسط جلبک کتومورفا ۶۰ دقیقه می باشد، که برای آزمایشهای دیگر از این اطلاعات استفاده می گردد. در اینجا زمان تعادلی جذب نیکل برای هر سه غلظت ساخته شده یکسان بوده و بیش از ۹۰ درصد جذب در ۳۰ دقیقه اول آزمایش رخ داد. ملکوتیان و همکاران در سال ۱۳۹۰ زمان بهینه جذب کادمیم، روی و مس توسط جلبک سبز الوتریکس زوناتا را برابر ۶۰ دقیقه گزارش کردند. بینالهاری و همکاران در سال ۲۰۱۱ نیز زمان تعادلی جذب زیستی یون مس توسط جلبک کتومورفا را ۶۰ دقیقه بدست آوردند. همچنین ایشان زمان تعادل را برای چهار غلظت متفاوت از یون فلزی مس را یکسان گزارش کردند.



نمودار ۳-۱- تاثیر زمان تماس بر روی درصد جذب نیکل توسط جلبک *Chaetomorpha sp* در  $1 \text{ g/L}$  جلبک ،  $\text{pH}=6$  ،  
 $\text{temp}=25^\circ\text{C}$  ،

### ۲-۳- بهینه سازی جذب فلز کادمیم توسط جلبک کتومورفا به روش پاسخگویی سطحی (RSM)

در این مطالعه از روش RSM و مدل طراحی باکس بنکن (Behnken -Box) استفاده گردید. در اینجا یک طراحی آزمایش با ۳۰ تعداد آزمایش و سه فاکتور دما، pH و میزان جاذب با سطوح ۲۵ ، ۴۵ و ۶۵ درجه سانتی گراد برای دما ، ۲/۵ ، ۶ ، ۹/۵ برای pH و مقادیر ۱۰۰۰ ، ۵۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر برای جاذب ، بصورت تصادفی انجام شد. غلظت یون فلزی در این روش برای هر دو نوع یون فلزی ۱۰۰ ppm اختیار گردید. ضرائب رگرسیونی را نیز از خروجی مینی تب بدست آوردیم، این ضرائب در واقع تأثیر همزمان عوامل مؤثر بر جذب را نشان می دهند. از ضرائب بدست آمده از خروجی مینی تب، و جایگزین کردن در معادله شماره ۲، مدل درجه دومی بدست می آید که با استفاده از آن می توان تمامی مقادیر درصد برداشت یون فلزی را در دامنه فاکتورهای مورد نظر بصورت تئوری بدست آورد. در اینجا برای تعیین شرایط بهینه و بدست آوردن بیشترین مقدار درصد جذب از آزمون F استفاده می گردد. لذا از تمامی ضرائب بدست آمده که از ۰/۰۵ بیشتر می باشند چشم پوشی کرده و بقیه ضرائب را در معادله جایگزین می کنیم (راجاسیمان و موروگایان ، ۲۰۱۰، صدیقی و همکاران ، ۲۰۱۲). مقادیر فاکتورها و کدهای مربوط به آن در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- متغیرهای مستقل و مقادیر آنها

شرایط آزمایش و حرف لاتین تعریف شده	مقادیر و کد آنها		
	-۱	۰	+۱
pH(A)	۲/۵	۶	۹/۵
دما (°C) (B)	۲۵	۴۵	۶۵

مقدار جاذب (C) (mg/L)	۱۰۰	۵۵۰	۱۰۰۰
-----------------------	-----	-----	------

مقادیر آزمایشگاهی درصد برداشت یون فلزی نیکل در جدول شماره ۳-۲ نشان داده شده است. در این حین ضرائب رگرسیونی بدست آمده برای نیکل نیز در جدول شماره ۳-۳ نشان داده شده است. پس از جایگزینی و حذف ضرائب بی تاثیر در معادله شماره ۲، معادله ۳ حاصل می گردد. که می توان درصد فلز برداشتی را محاسبه نمود.

با توجه به جدولهای شماره ۲ و ۳ معادله شماره ۳ برای جذب بهینه نیکل حاصل می گردد. در اینجا ضریب همبستگی ( $R^2$ ) هر چه به ۱۰۰ نزدیکتر باشد صحت مدل را در پیش بینی مقادیر نشان می دهد (نامدتیا و پولی پاتی، ۲۰۱۳). لذا با توجه به اینکه ضریب همبستگی و  $R^2$  تصحیح شده<sup>۱</sup> برای برداشت نیکل ۹۹/۳ بدست آمد می توان ادعا کرد که مدل دارای صحت بالایی در پیش بینی مقادیر دارد. جدول Anova برای مدل درجه دوم درصد برداشت جذب زیستی نیکل و کادمیم در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. با توجه به Lack of fit های بدست آمده می توان نتیجه گرفت که مدل بدست آمده می تواند بر دادهای مورد بررسی، برازش شوند.

جدول ۲- مقادیر آزمایشگاهی و تئوری نیکل حذف شده توسط جلبک کتومورفا

Run	A	B	C	مقدار آزمایشگاهی	مقدار تئوری	خطا
1	0	0	0	66	65.583	0.417
2	+1	+1	0	0	0.013	-0.013
3	+1	+1	0	0	0.013	-0.013
4	0	0	0	65.8	65.583	0.217
5	-1	0	+1	52	58.706	-6.706
6	-1	0	-1	29	26.906	2.094
7	+1	-1	0	0	0.850	-0.850
8	0	0	0	65.5	65.583	-0.083
9	0	0	0	65.7	65.583	0.117
10	0	+1	-1	58	60.944	-2.944

1-Adjusted R<sup>2</sup>



11	0	0	+1	59.5	58.706	0.794
12	0	+1	+1	83.7	81.494	2.206
13	0	+1	+1	41	40.150	0.850
14	+1	0	-1	0	-2.956	2.956
15	0	-1	-1	64.8	67.006	-2.206
16	-1	0	-1	29	26.906	2.094
17	-1	-1	0	47	47.188	-0.188
18	+1	0	-1	0	-2.956	2.956
19	0	-1	+1	86	83.306	2.694
20	-1	-1	0	47.4	47.188	0.212
21	+1	0	+1	0	2.094	-2.094
22	0	0	0	65.5	65.583	-0.083
23	0	+1	-1	58	60.944	-2.944
24	-1	+1	0	41	40.150	0.850
25	0	0	0	65	65.583	-0.583
26	0	+1	+1	83.5	81.494	2.006
27	+1	-1	0	0	0.850	-0.850
28	0	-1	-1	65	67.006	-2.006
29	0	-1	+1	86.5	83.306	3.194
30	+1	0	+1	0	2.094	-2.094

۳- ضرائب بدست آمده از واریانس برای مدل درجه دو

S = 2.615 R-Sq = 99.5% R-Sq(adj) = 99.3%			
Term	Coef	Se Coef	p-value prob>b
Constant	-23.2063	7.41098	0.005

پنجمین کنفرانس انرژیهای تجدیدپذیر، پاک و کارآمد ۱۵ اسفند ۱۳۹۲ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا

[www.Renewenergy.ir](http://www.Renewenergy.ir)

۰۲۱ - ۸۸۶۷۱۶۷۶

A	41.9539	1.17508	0.000
B	-1.2487	0.23961	0.000
C	0.0223	0.00795	0.011
A×A	-3.8993	0.07855	0.000
B×B	0.0106	0.00241	0.000
C×C	0.0000	0.00000	0.002
A×B	0.0221	0.01321	0.109
A×C	-0.0042	0.00059	0.000
B×C	0.0001	0.00010	0.264

جدول ۴- جدول Anova برای مدل درجه دوم درصد برداشت فلز نیکل توسط جاذب کتومورفا

Source	Ni				
	Sum of squares (SS)	Degrees of freedom (D.F)	Mean squares (M.S)	F-value	p value
Model	۲۶۹۱۱/۱	۹	۱۸۶۹/۹۹	۴۳۷/۳۱	۰/۰۰۰
Pure error	۲۹	۱۷	۱/۷		
Residual	۱۳۶/۷	۲۰	۲/۴۵		
Lack of fit	۱۰۷/۸	۳	۳۵/۹۳	۲۱/۰۹	۰/۰۰۰
Total	۲۷۰۴۷/۹	۲۹			

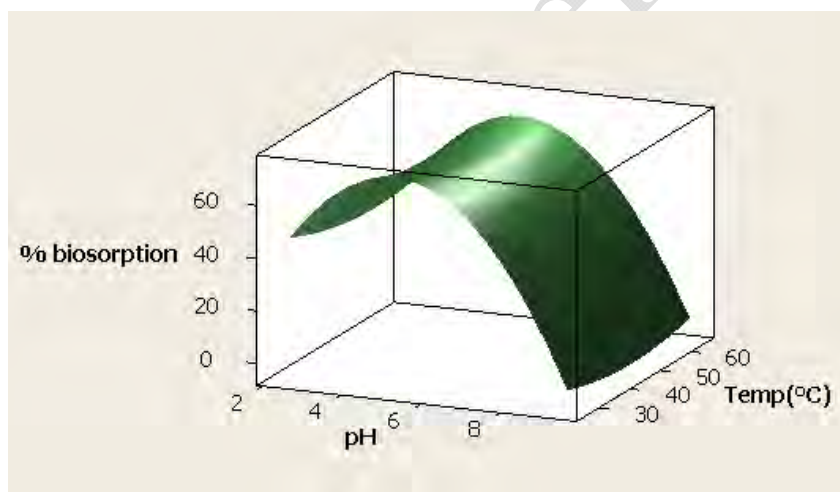
$$Y = -23.2063 + 41.9539 \cdot A - 1.2487 \cdot B + 0.0223 \cdot C - 3.8993 \cdot A^2 + 0.0106 \cdot B^2 + 0.0000 \cdot C^2 - 0.0042 \cdot AC$$

(۳)

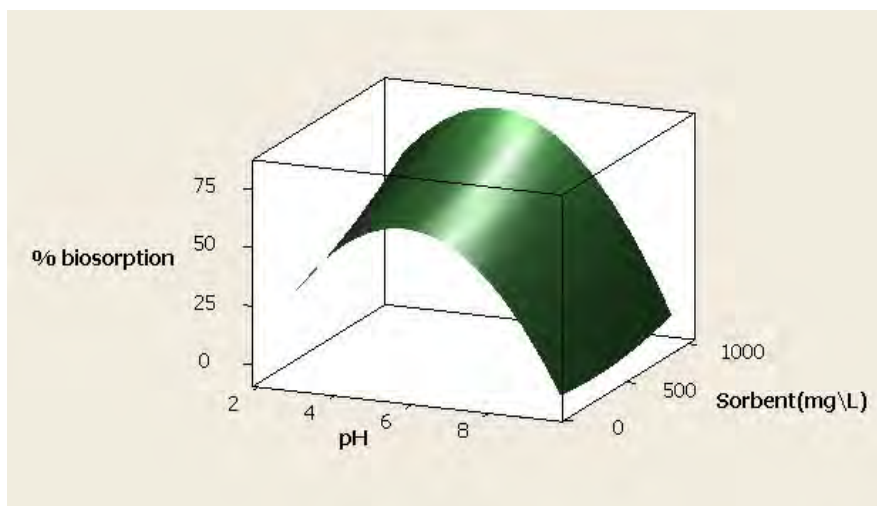
### ۳-۳- تاثیر فاکتورهای مورد مطالعه بر میزان جذب فلز یون نیکل توسط جلبک کتومورفا

شکل ۱ تاثیر همزمان مقدار جاذب و دما بر میزان جذب را مشخص می‌کند. در این شکل مشخص می‌گردد که دما و pH در جذب کادمیم توسط جاذب کتومورفا بر همکنشی بر یکدیگر نداشته و در تقریباً در هر دمایی با افزایش pH تا محدوده برابر ۵ شاهد افزایش درصد جذب یون فلزی می‌باشیم. همانطور که در شکل ۲ دیده میشود، هر دو عامل pH و مقدار جاذب بر جذب موثر بوده و، بهترین جذب در pH ۴ تا ۶ و مقدار جاذب ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر اتفاق می‌افتد. در pH های بالا و پایین بویژه pH بالا ما شاهد کاهش درصد فلز برداشتی می‌باشیم. که دلیل این کاهش درصد

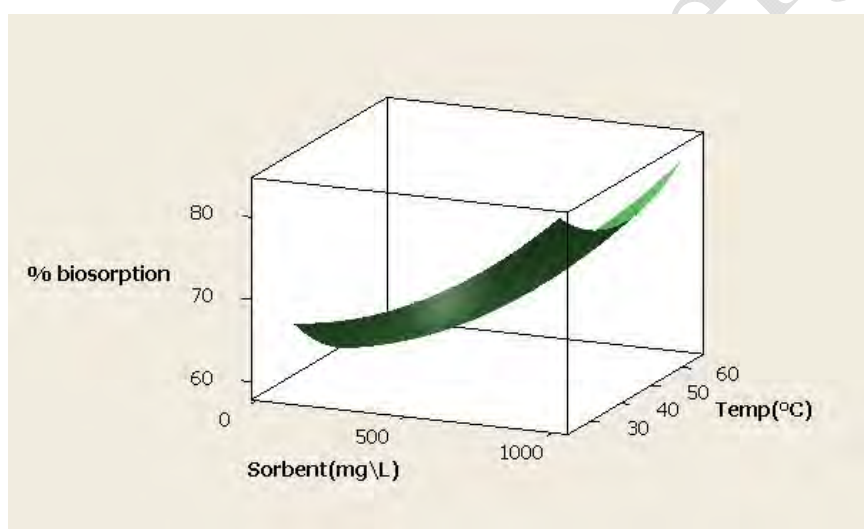
جذب را می توان به دلیل تشکیل رسوب کاتیونهای فلزی  $Ni(OH)_2$  در محلول و دور ماندن از سایت های پیوند مسقر روی دیواره سلولی جلبک دانست. نتایج مشابهی توسط ژیاثو و همکاران در سال ۲۰۱۰ در حذف فلزات سنگین کادمیم توسط نوعی قارچ گزارش شده است. در pH پایین نیز درصد یون برداشتی کاهش یافته که بدلیل رقابت پروتونها با کاتیونهای فلزی برای اتصال به سایت های دیواره سلولی میباشد. (صدیقی و همکاران، ۲۰۱۲، اسبچین و همکاران، ۲۰۱۲). شکل ۳ تاثیر همزمان مقدار جذب و دما بر جذب یون فلزی نیکل را نشان می دهد. همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می گردد، در مقدار جذب کم، کارایی درصد برداشت یون فلزی نیز کاهش یافته که این کاهش در اکثر شرایط دمایی دیده می شود. که این خود بیانگر عدم برهم کنش این دو عامل بریکدیگر در کارایی برداشت یون فلزی از محلول می باشد. با افزایش مقدار جذب بدلیل افزایش سطح تماس در دیواره سلولی جلبک و محل های پیوند، میزان جذب نیز افزایش می یابد. گزارشی مشابه نیز توسط بیشونی و همکاران در سال ۲۰۰۴ و موروگسان و همکاران در سال ۲۰۰۹ داده شد



شکل ۱- تاثیر همزمان pH و دما بر جذب نیکل توسط جلبک کتومورفا



شکل ۲- تاثیر همزمان pH و جاذب بر جذب نیکل توسط جلبک کتومورفا



شکل ۳- تاثیر همزمان مقدار جاذب و دما بر جذب نیکل توسط جلبک کتومورفا

با توجه به معادله ۳ و شکل‌های ۱ تا ۳ مشخص گردید که بیشترین درصد جذب یون نیکل توسط جلبک کتومورفا با غلظت اولیه ۱۰۰ ppm، pH برابر ۴/۹، دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و مقدار جاذب ۱۰۰۰ میلی گرم برلیتر در مدت زمان تماس ۶۰ دقیقه برابر ۸۷/۹۷ درصد می باشد.

### ۳-۴- آزمایش‌های تعادلی ایزوترم جذب

در این مطالعه از دو مدل همدمایی لانگمویر و فرنللیچ برای بهینه سازی طراحی فرایند جذب و نشان دادن بیشترین ظرفیت جذب یونهای فلزی توسط جاذبها مورد استفاده قرار می گیرد. برای تعیین بیشترین میزان جذب یون فلزی از مدل لانگمویر

یا معادله شماره ۵ استفاده شد (ساری و توزن، ۲۰۰۸، بیشونی و پنت، ۲۰۰۴). مدل‌های ایزوترم لانگمویر یک پوششی تک لایه بر روی جاذب می باشد. در این مدل جذب بر روی نقاط خاصی از جاذب صورت می گیرد (صدیقی و همکاران، ۲۰۱۲).

$$C_e/q_e = C_e/q_{\max} + 1/K_L q_{\max} \quad (۴)$$

که در آن که  $C_e$  غلظت فلز در حالت تعادل می باشد (میلی گرم بر لیتر) و  $q_e$  مقدار فلز جذب شده در حالت تعادل (میلی گرم بر گرم)،  $q_{\max}$  بیشترین مقدار جذب تک لایه یون فلزی (میلی گرم بر گرم)،  $K_L$  ثابت لانگمویر بر حسب لیتر بر میلی گرم می باشد که بستگی به میل جاذب به جذب یون فلزی دارد (لودریا و همکاران، ۲۰۰۵).

مدل فرندلیچ که شکل لگاریتمی و خطی آن در معادله شماره ۶ نشان داده است مدل دیگری بود که مورد بررسی قرار گرفت (بینالهای و همکاران، ۲۰۱۱). از این ایزوترم برای مدلسازی فرایندهای جذب سطوح ناهمگن استفاده می گردد (مردانی و همکاران، ۲۰۰۹).

$$\text{Log } q_e = \log kF + 1/n \log C_e \quad (۵)$$

در این مدل  $n$  و  $kF$ ، ثابت‌های جذر و توزن، ۲۰۰۸). برای تعیین میزان جذب یون فلزی نیز از معادله شماره ۷ استفاده شد.

$$q = V(C_i - C_e)/W \quad (۶)$$

که در آن  $q$  = میزان جذب بر حسب میلی گرم بر گرم،  $V$  حجم محلول بر حسب لیتر،  $C_i$  غلظت اولیه فلز بر حسب میلی گرم بر لیتر،  $C_e$  غلظت نهایی فلز بر حسب میلی گرم بر لیتر و  $W$  وزن جاذب (جلبک) بر حسب گرم می باشد (منتظر رحمتی و همکاران، ۲۰۱۱). اطلاعات به دست آمده از دو ایزوترم جذب زیستی یون فلزی نیکل در جدول ۹ نشان داده شده است. که با توجه به آن و بعد از مقایسه  $R^2$  دو مدل مورد مطالعه که عبارت بودند از ۰/۹۶۴ برای لانگمویر و ۰/۸۶۴ برای فرندلیچ، مشخص شد که جذب زیستی نیکل توسط جاذب کتومورفا بیشتر با مدل لانگمویر مطابقت داشته و این مدل تناسب بیشتری با اعداد بدست آمده ما دارد. بیشترین مقدار جذب سطحی کادمیم نیز ۲۵۰ میلی گرم بر گرم وزن خشک جاذب بدست آمد.

جدول ۹- مقایسه نتایج دو مدل همدمایی لانگمویر و فرندلیچ برای جلبک کتومورفا و فلز نیکل

یون فلزی	لانگمویر			فرندلیچ	
	$R^2$	$q_{\max}(\text{mg/g})$	$K_L(\text{L/mg})$	$R^2$	$n$
نیکل	۰/۹۶۴	۲۵۰	۰/۰۶۸	۰/۸۶۴	۲/۹۶۷

پنجمین کنفرانس انرژیهای تجدیدپذیر، پاک و کارآمد ۱۵ اسفند ۱۳۹۲ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا

## ۴- نتیجه گیری

در این مطالعه جذب زیستی نیکل توسط جلبک کتومورفا مورد بررسی قرار گرفت. و مشخص گردید که جذب یون کادمیم توسط این جاذب بعد از ۶۰ دقیقه به تعادل میرسد و بیش از ۹۰ درصد جذب یون فلزی نیز در ۳۰ دقیقه اول جذب انجام می‌گیرد. برای بدست آوردن شرایط بهینه جذب و تاثیر پارامترهای pH، وزن جاذب و دما بر روی جذب زیستی از روش RSM با طراحی باکس بنکن استفاده شد و مشخص گردید که بهترین شرایط برای جذب زیستی یون فلزی کادمیم توسط جاذب کتومورفا در مدت زمان تماس ۶۰ دقیقه، دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، و pH برابر ۴/۹ و مقدار جاذب ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر بوده که در این شرایط شاهد جذب ۸۷/۹۷ درصد نیکل در غلظت اولیه ۱۰۰ ppm یون فلزی می‌باشیم. در این مطالعه مشخص شد که pH و مقدار جاذب نقش بسیار مهمی در فرایند جذب یون فلزی دارند به این ترتیب که در pH های بالا و پایین میزان حذف یون فلزی از محلول کم شده. میزان جذب نیز با افزایش میزان جاذب افزایش پیدا می‌کند. بررسی مکانیسم فرایند جذب با استفاده از دو مدل جذبی لانگمویر و فرنلدیچ نشان داد نتایج تجربی بدست آمده از جذب نیکل نیز تطابق بهتری با مدل لانگمویر دارد. بیشترین میزان این یون فلزی توسط جاذب کتومورفا با توجه به ایزوترم لانگمویر برابر با ۲۵۰ میلی گرم بر گرم وزن جلبک خشک محاسبه شد. لذا با توجه به ظرفیت بالای این جاذب در جذب یون نیکل پیشنهاد می‌گردد از جاذب کتومورفا به عنوان یک جاذب طبیعی و ارزان قیمت و در دسترس و دوست دار طبیعت در تصفیه فاضلاب آلوده به کادمیم استفاده گردد.

## Reference:

1. Ahluwalia SS, Goyal D. 2007. Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. *Bioresource Technol.*, 98(12):2243-57.
2. Ahmady-Asbchin S, Azhdehakoshpour A. 2012. Biosorption of Cu (II) and Ni (II) Ions from Aqueous Solution by Marine Brown Algae *Sargassum angustifolium*. *J. BIOL. ENVIRON. SCI.* 6(18), 271-279.
3. Beenalahari S, King V, Prasad VSRK, 2011. Biosorption of copper from aqueous solution by *Chaetomorpha ntenine*. *Iran. j. environ. Health. Sci. Eng.* vol:8, No, 4, pp:353-362.
4. Bishoni NR, Pant A, (2004). biosorption of copper from aqueous solution using algal biomass. *journal of Scientific & Industrial Research*. vol.63. octobr 2004. pp: 813-816.
5. Davis TA, Volesky B, Mucci A. 2003. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Res* 37:4311-4330.

6. Fouladi-Fard, R., Azimi, A., and Nabi-Bidhendi, G. (1387). "Cadmium biosorption in a batch reactor using excess municipal sludge powder." *J. of Water and Wastewater*, 67, 2-8.
7. Herrero, R., Cordero, B., Lodeiro, P., Rey-Castro, C. and Sastre de Vicente, M.E. (2006). "Interactions of cadmium(II) and protons with dead biomass of marine algae *Fucus* sp." *Mar. Chem.*, Vol. 99, PP. 106-116.
8. Holan ZR., Volesky B., 1994. Biosorption of lead and nickel by seaweed materials. *Biotechnol. Bioeng.* 43, 1001-1009.
9. Kaewsan P. 2002. Biosorption of copper(II) from aqueous solutions by pre-treated biomass of marine algae "*Padina* sp". *Chemosphere*. 47(10):1081-5.
10. Kuyucak N., Volesky B. 1988. Biosorbents for recovery of metals from industrial solutions. *Biotechnol. Left*, 10 (2), 137-142.
11. Lodeiro, P., Cordero, B., Barriada, J.L., Herrero, R. and Sastre de Vicente, M.E. (2005). "Biosorption of cadmium by biomass of brown marine macroalgae." *Bioresour. Technol.*, Vol. 96, PP. 1796-1803.
12. Marandi R., Doulati Ardejani F. H., Amir Afshar. 2009. Biosorption of Lead (II) and Zinc (II) ions by pre-treated biomass of phanerochaete chrysosporium. *International Journal of Mining & Environmental Issues* Vol. 1, No.1, P:9-16.
13. Montazer-Rahmati MM., Rabbani P., Abdolali A., Keshtkar A. 2011. Kinetics and equilibrium studies on biosorption of cadmium, lead, and nickel ions from aqueous solutions by intact and chemically modified brown algae. *Journal of Hazardous Materials*, 185.p: 401-407.
14. Murugesan S., Rajiv S., Thanapalan M. 2009. Optimization of process variables for a biosorption of nickel(II) using response surface method. *Korean Journal of Chemical Engineering* .Vol 26(2), pp 364-370.
15. Namdetti R., Pulipati K. 2013. Application Of Response Surface Methodology For The Biosorption Of Lead Using *Grewia Orbiculata* L. *International Journal of ChemTech Research*. Vol.5, No.4, pp 1413-1420.
16. Nirmal Kumar JI., Oommen C., Kuma NR., (2009). biosorbption of heavy metal from aqueous solution by green marine macroalgae from okhaport, gulf of kutch. India, *American-Eurasian j. Agric & Environ. sci.*, 6(3):317-323.
17. Paul, S., Bera, D., Chattopadhyay, P., and Ray, L. (2006). "Biosorption of Pb(II) by *Bacillus cereus* M immobilized in calcium alginate gel." *J. for Hazardous Substance Research*, 5(2) 1-13.
18. Peter B. 2001. "Environmental protection, health and safety." *Foundry Technology*, 2nd Ed., Butterworth-Butterworth, Oxford.
19. Romera E., Gonzalez F., Ballester A., Blazquez ML., Munoz JA., 2007. Comparative study of biosorption of heavy metals using different types of algae. *Bioresour. Technol.* 98(17), 3344-3353.
20. Rostami, K., and Joodaki, M.R., (2002) "Some studies of cadmium adsorption using *Aspergillus niger*, *Penicillium austrianum*, employing an airlift fermenter." *J. of Chemical Engineering*, 89(1-3) 239-252.
21. Sari A., Tuzen M. 2008. Biosorption of cadmium(II) from aqueous solution by red algae (*Ceramium virgatum*): Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Hazardous Materials* 157 (2008) 448-454.
22. Sedighi M., Ghasemi M., Hassan SH., Daud WR., Ismail M., Abdallah E. 2012. Process optimization of batch biosorption of lead using *Lactobacillus bulgaricus* in an aqueous phase system using response surface methodology. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* ., Volume 28, Issue 5, pp 2047-2055.
23. 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." *J. Colloid Interf. Sci.*, Vol. 275, PP. 131-141.
24. Wang, J., Chen, C. 2006. Biosorption of metals by *Sacharomyces Cerevisia*: A review. *Biotechnology Advances* 24:427-451.
25. Xiao X., Luo V., Zeng G. 2010. Biosorption of cadmium by endophytic fungus (EF) *Microsphaeropsis* sp. LSE10 isolated from cadmium hyperaccumulator "*Solanum nigrum* L". *Bioresour. Technol.* 101(6):1668-74.
26. Yang J. 1999. Biosorption of uranium, cadmium on *Sargassum* seaweed biomass. Ph.D. Thesis. Department of Chemical Engineering, McGill University, Montreal, Canada. 1999. 150 pp.

[www.Renewenergy.ir](http://www.Renewenergy.ir)



# SID



ابزارهای  
پژوهش



سرویس ترجمه  
تخصصی



کارگاه های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری  
STES



فیلم های  
آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



تازه های آموزش  
آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقالات ISI

آموزش مهارت های کاربردی  
در تدوین و چاپ مقالات ISI



تازه های آموزش  
روش تحقیق کمی

روش تحقیق کمی



تازه های آموزش  
آموزش نرم افزار Word برای پژوهشگران

آموزش نرم افزار Word  
برای پژوهشگران