

جذب زیستی فلز نیکل از محلول آبی به وسیله باکتری *Pseudomonas*

سلمان احمدی اسبچین^۱

ناصر جعفری^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۱۹

تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۰۷/۱۵

چکیده

فلزات سنگین به دلیل پایداری زیاد در محیط و حضور مقادیر بالایی از آنها در پساب کارخانجات از مهمترین آلاینده‌های زیست‌محیطی به‌شمار می‌روند. بنابراین تصفیه پساب کارخانجات قبل از استفاده مجدد از آنها ضروری می‌باشد. فلزات سنگین حتی در مقادیر بسیار کم اثرات نامطلوبی در محیط ایجاد می‌کنند. تیمار زیستی که توسط مواد زیست‌شناختی مانند قارچ، مخمر، باکتری و جلبک انجام می‌شود به دلیل داشتن مکانیزم‌های جذب، کمپلکس شدن با سطح سلول، تعویض یونی و رسوب همچنین مزایایی از قبیل مقرون به صرفه بودن، پائین بودن حجم لجن بیولوژیکی و شیمیایی دفعی، راندمان بالا، قابلیت احیا مواد زیستی و بازیافت فلزات سنگین بیش از سایر روش‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. در این پژوهش از گونه‌های سودوموناس *Pseudomonas sp.* که از اطراف شهرک صنعتی ایلام جدا شده، به عنوان جاذب زیستی برای جذب فلز سمی نیکل در راکتور استفاده شده است. بیشینه جذب نیکل بوسیله *Pseudomonas* اثر مدت زمان تماس، اثر pH محلول فلزی و تکرارپذیری مورد مطالعه قرار گرفته است. داده‌های ایزوترم جذب از معادله لانگموئیر پیروی کرده

۱. استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ایلام، ایلام / sahmadyas@yahoo.fr

۲. استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه مازندران، بابل

است، بیشینه میزان جذب در حدود ۶/۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک توده سلولی بوده و زمان تعادل در حدود ۵ دقیقه بوده است. همچنین اتیلن دیامین تترا استیک اسید بهترین عامل جداکننده فلز از باکتری شناخته شده است. در این تحقیق مشخص شد که *Pseudomonas* به عنوان جاذب زیستی مناسبی برای نیکل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: *Pseudomonas*، نیکل، جذب زیستی، ایزوترم

مقدمه

توسعه فن‌آوری و رشد روزافزون فعالیتهای صنعتی از یک طرف و رعایت نکردن فاکتورهای زیست محیطی از طرف دیگر، سبب شده است، تا طی چند دهه اخیر مقادیر بسیار بالایی از آلاینده‌ها وارد محیط زیست شوند. یکی از مهمترین آلاینده‌های پایدار و غیر قابل تجزیه فلزات سنگین هستند، که از سمی‌ترین آلاینده‌ها در محیط زیست به شمار می‌روند. بنابراین جذب این آلاینده‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. از آنجایی که روش‌های مرسوم فیزیکی و شیمیایی در غلظت‌های پایین فلزات سنگین مؤثر نبوده و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشند، به همین دلیل استفاده از جاذب‌های زیستی از چند دهه قبل مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است.

روش حذف زیستی^۱ دو نوع است که توسط عوامل زیستی صورت می‌گیرد. در حذف زیستی فلزات سنگین بدون اینکه ضرری برای عوامل زیستی داشته روی عوامل زیستی زنده و غیر زنده پیوند می‌شود (تثبیت می‌شوند). حذف فلزات سنگین از

طریق داخل سلولی در اثر تماس طولانی عامل زنده با محلول فلزی تجمع زیستی^۲ نامیده می‌شود (Mchale & Michael 1994; Tsezos & Volesky 1982).

به علت اینکه تجمع زیستی فرآیندی است که به رشد سلول وابسته است، بنابراین مشخص کردن مقادیر حذف در این روش متفاوت از جذب بیولوژیکی بوده و کمی پیچیده‌تر به نظر می‌رسد (Garnham & et al, 1992).

در جاذب‌های زیستی تمام یون‌های فلزی قبل از دسترسی به غشای پلاسمایی و سیتوپلاسم باید از دیواره سلولی عبور کنند و چون دیواره سلولی حاوی پلی ساکاریدها و پروتئین‌های مختلفی است، در نتیجه جایگاه‌های فعال مختلفی وجود دارد که قابلیت اتصال با یون‌های فلزی را دارند (Remacle, 1990).

فرآیند جذب در باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی به دلیل تفاوت در ساختار غشاء و دیواره با هم تفاوت دارد. دیواره سلولی باکتری‌های گرم منفی ضخامت کمتری نسبت به باکتری‌های گرم مثبت دارد در نتیجه در باکتری‌های گرم منفی جایگاه‌های

جذب بوده است. همچنین در ادامه این تحقیق تاثیر عوامل رهاساز مورد مطالعه قرار گرفته است.

۱. مواد و روش‌ها

۱.۱. توده سلولی

برای این پژوهش از *Pseudomonas* باکتری میله‌ای شکل، گرم منفی، متحرک که از پساب کارخانه شهرک صنعتی ایلام جدا شده، استفاده شده است. مشخصات بیوشیمیایی و مورفولوژیکی این باکتری در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

۱.۲. اندازه‌گیری فلز نیکل

اندازه‌گیری و آنالیز یون فلزی نیکل قبل و بعد از هر آزمایش بوسیله دستگاه جذب اتمی^۱ اسپکترومتر اندازه‌گیری شده است.

۱.۳. کینتیک جذب فلز نیکل توسط باکتری

جهت انجام این کار کشت ۲۴ ساعته باکتری، با آب مقطر بدون یون شستشو داده شد، و سپس ۰/۶ گرم توده سلولی باکتری را با محلول فلزی نیکل تماس و در زمان‌های ۰، ۵، ۸۰، ۱۵۰، ۲۵۰، ۱۲۵۰ و ۱۴۰۰ دقیقه از ارلن حاوی باکتری نمونه برداری شده و میزان فلز نیکل در آنها بوسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد و میزان جذب مورد بررسی قرار گرفته است. در این آزمایش از باکتری مورد مطالعه، توده سلولی تر سالم استفاده شده است و تماس در ارلن حاوی نیکل استفاده شده است.

اتصال محکمی وجود ندارد. ساختار غشاء بیرونی باکتری‌های گرم منفی متشکل از لیپولی ساکارید، فسفولیپید و پروتئین است (Norberg & Rydin 1984). در حالی که دیواره باکتری‌های گرم مثبت با داشتن گلیکوپروتئین بیشتر در سطح خارجی خود نسبت به باکتری‌های گرم منفی پتانسیل بیشتری برای جذب زیستی فلزات سنگین دارد (Ahmady- asbchin & Bahrami 2011; Soltan, 2001).

در مورد جذب زیستی باکتری‌ها تحقیقات زیادی صورت گرفته است که همچنان ادامه دارد. این تحقیقات نشان دادند که باکتری‌ها مخصوصاً باکتری‌های گرم مثبت پتانسیل بالایی جهت جداسازی فلزات سنگین دارند و در مصارف تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند (Cooksey & Azad, 1992).

تحقیقات گسترده‌ای در رابطه با جذب فلزات سنگین بوسیله باکتری‌ها صورت گرفته است، از آن جمله، Soltan در سال ۲۰۰۱ از باکتری *Pseudomonas aeruginosa* جهت حذف فلزات سرب، کادمیوم، جیوه، روی، نقره و مولیبدن استفاده کرده است (Leusch & et al., 1995). همچنین Cooksay و همکاران از باکتری *Pseudomonas syngeri* که دارای بالاترین میزان جذب برای فلز مس است استفاده کردند. میزان جذب مس در این باکتری معادل ۱۲۰ میلی گرم بر وزن خشک سلول بوده است (Reddad & et al, 2002). محققین دیگر نیز از *Saccharomyces cerevisiae* برای جذب زیستی استفاده نموده‌اند (Volesky & Phillips).

هدف از این تحقیق جداسازی باکتری *Pseudomonas* جهت حذف فلز سنگین نیکل از محلول آبی، بررسی مکانیسم جذب، تاثیر درجه حرارت و pH، کینتیک و ایزوترم

1. Atomic Absorption Spectrometer (Chem., Tech, Analytical CTA, 2000)

جدول ۱. خصوصیات بیوشیمیایی و مورفولوژی *Pseudomonas* جدا شده

نتیجه	تست‌ها
-	تست گرم
-	اسپور
+	فلاژل
+	تولید پیگمان (رنگدانه سبز مایل به آبی)
-	فرمنتاسیون دکستروز
-	فرمنتاسیون لاکتوز
-	فرمنتاسیون مالتوز
+	فرمنتاسیون مانیتول
-	فرمنتاسیون گزیلاز
-	هیدرولیز نشاسته
+	تولید ایندول
-	متیل رد
-	Voges-Proskauer
+	استفاده از سیترات
+	احیاء نیترات
+	اکسیداز
+	هیدرولیز ژلاتین
+	حرکت
+	کاتالاز
+	استفاده از ال. آرژنین
+	استفاده از بتا-آلانین
	شکل
	میله‌ای شکل

۲ ساعت قرار داده شد. ۱۰ میلی‌لیتر از محلول فلزی به این سوسپانسیون اضافه گردیده و هم زدن به مدت ۳ ساعت صورت گرفت. آنگاه سانتریفوژ در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه صورت گرفت. برای اندازه‌گیری یون نیکل در محلول، با استفاده از سرنگ ۱۰ میلی‌لیتری از ارلن حاوی باکتری و فلز نمونه برداشته و با فیلتر ۰/۴۵ نانومتری سر سرنگی محلول را گذرانده و میزان فلز در محلول را بوسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید.

۱.۴. ایزوترم جذب فلز نیکل بوسیله باکتری
برای انجام ایزوترم جذب سطحی، از غلظت اولیه فلز سنگین نیکل بین ۰/۰۱ تا ۱ میلی‌مول بر لیتر استفاده گردید. این غلظت فلز با توده سلولی باکتریایی تماس داده شد. کاتیون نیکل با میزان ۰/۸ گرم از توده سلولی مرطوب برای ۲۰ میلی‌لیتر از محلول، در هر صورت باید ۴٪ حجم محلول بیومس باشد. توده سلولی باکتریایی در دمای 37°C و 70°C خشک شده آنگاه داخل سوسپانسیون که حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر و pH=5.0 تحت هم زدن ۳۰۰ دور در دقیقه به مدت

$$(۲) \quad q_e = \frac{q_m b_L C_e}{1 + b_L C_e}$$

C_e غلظت نیکل در محلول در حالت تعادل (گرم بر لیتر)

q_e غلظت نیکل روی جاذب در حالت تعادل (میلی گرم بر گرم)

q_m حداکثر غلظت فلز نیکل (میلی گرم بر گرم)
 b_L ثابت تعادل^۱ وابسته به انرژی جذب زیستی (لیتر بر گرم)

۱.۷. تاثیر pH محلول فلزی روی جذب نیکل

نمونه‌های حاوی محلول فلزی نیکل دارای pHهای ۱۰-۲ با فاصله ۱ واحد تهیه گردید. برای هر تیمار سه تکرار در نظر گرفته شد. مدت زمان مجاورت باکتری و محلول حاوی فلز نیکل ۲ ساعت بوده و ارلن حاوی توده سلولی و فلز در داخل انکوباتور شیکردار با درجه حرارت $23 \pm 3^\circ C$ و میزان شیکر^۲ با ۱۵۰ دور در دقیقه قرار گرفته است. در این مدت زمان، محلول‌های فلزی حاوی باکتری در سانتریفیوژ با ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. در انتهای کار از بخش‌های رسوب (توده سلولی) و محلول رویی به منظور بررسی کارایی جذب^۳ و ظرفیت جذب^۴ توسط دستگاه جذب اتمیک برای آنالیز استفاده شد.

۱.۵. رهاسازی بوسیله اسید نیتریک باکتری *Pseudomonas* بر اساس روشی که در بخش ۱.۴ آمده است، در محلول ۶ میلی مولار با pH=5.0 کشت داده شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفیوژ ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. باکتری‌ها دو بار با محلول 9% NaCl مورد شستشو قرار گرفت. آنگاه سوسپانسیون در داخل محلول اسید نیتریک ۰/۱ مولار در pH=5.0 به مدت ۳۰ دقیقه در ۳۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. سپس مجدداً با سانتریفیوژ ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه باکتری جدا شده، و میزان فلز نیکل مورد بررسی قرار گرفت.

۱.۶. تعادل جذب و مدل‌های آن

مدل عمومی جهت بررسی جذب فلز بر روی جاذب زیستی این گونه می‌باشد: در این معادله در نهایت ظرفیت جذب با استفاده از مشخص بودن، وزن توده سلولی، حجم محلول فلزی، غلظت اولیه فلز، غلظت نهایی (تعادلی) فلز بدست آمده است (Ahmady-Asbchin & et al, 2008).

$$(۱) \quad m \cdot q_e = (C_0 - C_e)V$$

در این معادله:

m : وزن جاذب زیستی (mg)

q_e : ظرفیت جذب در حالت تعادل (MM^{-1})

V : حجم محلول (L^3)

C_0 : غلظت اولیه فلز محلول (ML^{-3})

C_e : غلظت فلز در محلول به حالت تعادل (ML^{-3})

در ادامه ایزوترم جذب یون نیکل توسط *Pseudomonas* از معادله لانگمویر مورد بررسی قرار گرفته است.

1. Equilibrium constant
 2. Shaker
 3. removal efficiency
 4. removal capacity

اهمیت این آزمایش این است که آیا تعداد دفعات قابل استفاده از جاذب زیستی قابل ملاحظه می‌باشد؟ یعنی آیا می‌توان از باکتری که یکبار برای جذب نیکل استفاده شده است، مجدداً استفاده کرد؟ و آیا اگر بارهای بعدی از توده سلولی باکتریایی استفاده می‌گردد، کارایی جذب چقدر می‌باشد.

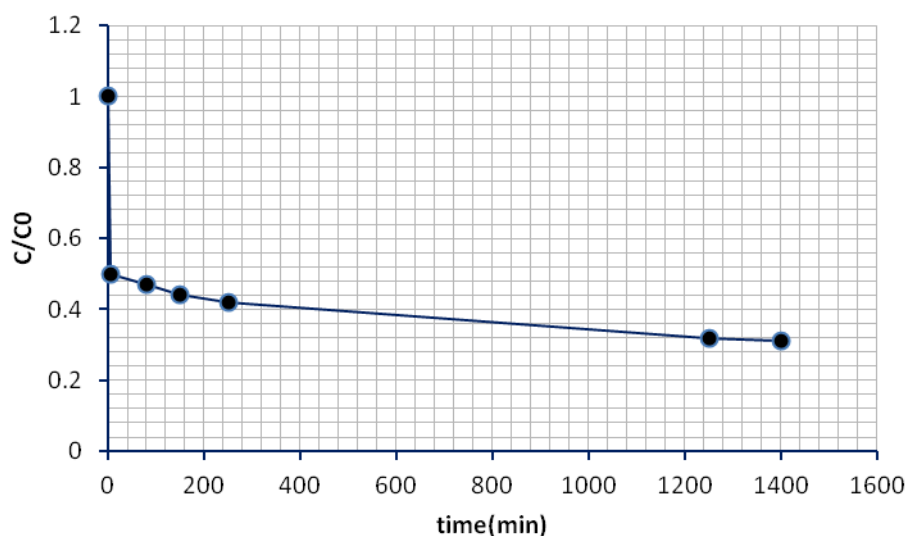
۲. نتایج

۲.۱. کینتیک جذب

کینتیک جذب نیکل بوسیله *Pseudomonas* مرطوب در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. این کینتیک جذب بسیار سریع و قابل ملاحظه می‌باشد، تنها حدود ۵ دقیقه کافی است که ۵۰٪ نیکل از محلول جدا گردد. این میزان شاید مربوط به جذب غیر وابسته به متابولیسم باکتریایی باشد که بعد از ۳ ساعت از زمان تماس، سیستم تقریباً به تعادل رسیده

۱.۸. مطالعه آزادسازی نیکل از *Pseudomonas* با استفاده از اسید نیتریک^۱

در این آزمایش از عامل رهاساز اسید نیتریک، در غلظت ۱ مولار استفاده شده است. در مرحله اول باکتری در تماس با محلول حاوی یون نیکل قرار گرفت. سپس، توده سلولی با آب مقطر بدون یون، دو بار تقطیر شده شستشو داده شد. مدت زمان تماس توده سلولی حاوی نیکل با عامل رهاساز برابر ۳۰ دقیقه بود، سپس باکتری‌های مملو از یون فلزی نیکل در تماس با ۱۰ میلی‌لیتر از عامل رهاساز مذکور با غلظت ۱ مولار قرار گرفت. بعد از این زمان مجدداً از توده سلولی استفاده شده در مرتبه اول، برای جذب نیکل استفاده گردید. بعد از فرایند جذب، دوباره نیکل از توده سلولی بوسیله اسید نیتریک جدا شده و برای بار سوم از باکتری برای جذب فلز نیکل استفاده گردید.



شکل ۱. کینتیک جذب نیکل بوسیله *Pseudomonas* (توده سلولی مرطوب ۴٪=۰.۶ گرم، $C_0=4$ میلی مول، سرعت چرخیدن 300 rpm، درجه حرارت $23 \pm 3^\circ\text{C}$)

با خشک شدن لایه‌های دیواره سلولی توده سلولی *Pseudomonas*، جایگاه‌های اتصال به فلز بیشتر در دسترس قرار می‌گیرند، در نتیجه افزایش جذب مشاهده گردیده است. نقش اصلی در این پدیده را دیواره سلولی باکتری بر عهده دارد.

۲.۳. ایزوترم جذب

همان‌گونه که در شکل شماره ۳ نشان داده شده است، با افزایش غلظت محیطی فلز، جذب نیز افزایش پیدا می‌کند، زیرا با افزایش غلظت فلز، میزان بیشتری از فلز در معرض گروه‌های سطحی باکتری قرار می‌گیرد، اما تا حدی این افزایش غلظت فلز با افزایش جذب همراه می‌باشد، و بعد از آن با توجه به ثابت بودن میزان باکتری و جایگاه‌های جذب روی توده سلولی، میزان جذب ثابت می‌ماند. این منحنی در pH برابر ۵/۰ ترسیم شده است. بیشینه جذب در حدود ۶/۴۴ میلی گرم بر گرم وزن توده سلولی باکتریایی می‌باشد.

است. بر اساس مدل Langmuir-Hinshelwood مشخص گردید، k_1 میزان ثابت کینتیک در حدود $4/24 \times 10^{-4} \text{ (min}^{-1}\text{)}$ بوده است. زمان تعادل جذب نیکل بوسیله باکتری نشان می‌دهد که مدت مورد نیاز برای باکتری جهت حذف فلز از محلول آبی مناسب بوده و در استفاده‌های صنعتی ارزشمند می‌باشد.

۲.۲. اثر فرم^۱ مورد استفاده توده سلولی *Pseudomonas*

همچنین در ادامه، اثر چهار شکل از توده سلولی باکتری استفاده شده است.

۱. شکل مرطوب

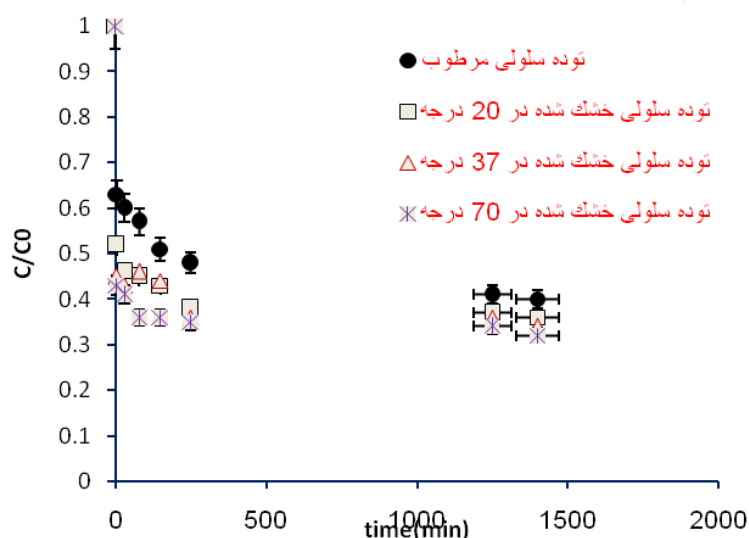
۲. توده سلولی خشک شده در $20 \pm 5^\circ\text{C}$

۳. توده سلولی خشک شده در $37 \pm 5^\circ\text{C}$

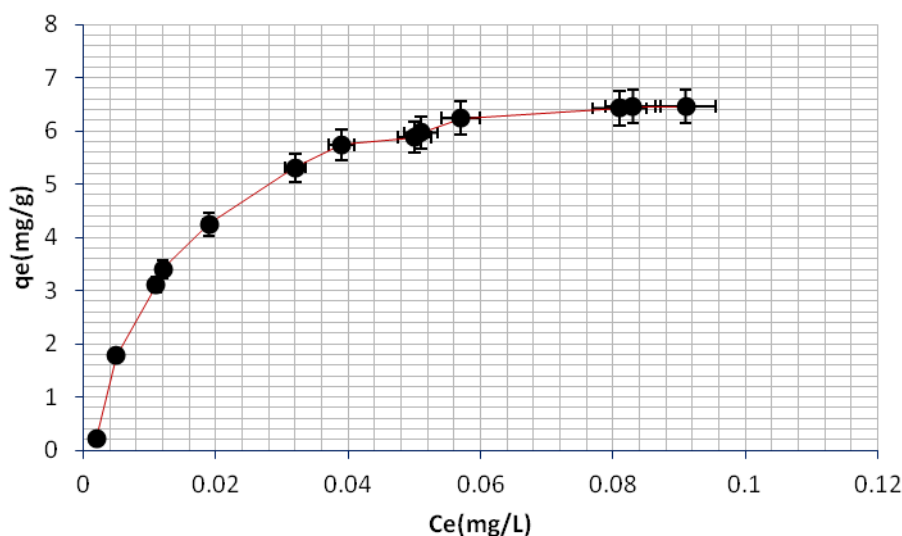
۴. توده سلولی خشک شده در $70 \pm 5^\circ\text{C}$

و اثر این چهار شکل بر روی کینتیک جذب فلز نیکل نشان داده شده است.

نتایج در شکل شماره ۲ نشان داده که کینتیک جذب در توده سلولی‌های خشک سریعتر از توده سلولی مرطوب بوده است.



شکل ۲. کینتیک جذب فلز نیکل بوسیله توده سلولی *Pseudomonas* در فرم‌های متفاوت. (توده سلولی ۴٪=۰/۶ گرم، $C_0=4$ میلی‌مول، سرعت چرخیدن 300 rpm، درجه حرارت $23 \pm 3^\circ\text{C}$)

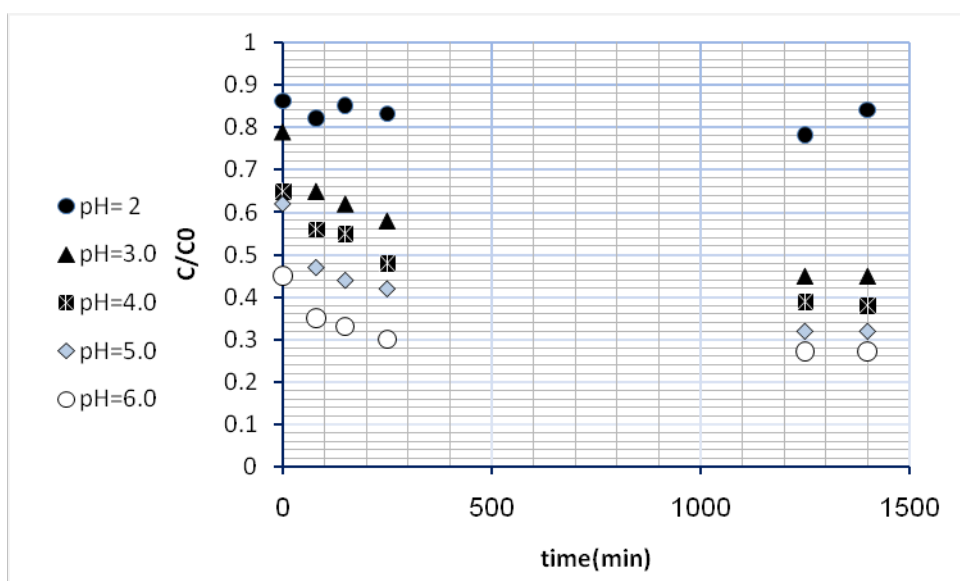


شکل ۳. ایزوترم جذب نیکل بوسیله توده سلولی *Pseudomonas* (C_0 برابر 1-0/01 میلی‌مول بر لیتر، توده سلولی مرطوب 4%، حجم 20 میلی‌لیتر، pH برابر 5/0 سرعت هم‌زدن 300 rpm و درجه حرارت $23 \pm 3^\circ\text{C}$)

همچنین همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، بیشینه جذب در حدود ۶/۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن توده سلولی *Pseudomonas* می‌باشد، که در pH حدود ۵/۰ رخ داده است. کاهش جذب فلز نیکل از pH در حدود ۵ به pH در حدود ۶ معنی‌دار بوده، زیرا این کاهش جذب در pH های بالاتر از ۶ نیز مشاهده گردید.

۲.۴. تاثیر pH محلول اولیه روی جذب

اثر تغییر pH بر روی کینتیک جذب نیکل بوسیله توده سلولی مرطوب *Pseudomonas* مطالعه شده است. تنظیم pH از طریق افزودن اسید نیتریک ۰/۱ مولار و سود ۰/۱ مولار انجام می‌شود که در شکل شماره ۴ کینتیک جذب نیکل بوسیله *Pseudomonas* نشان داده شده است.

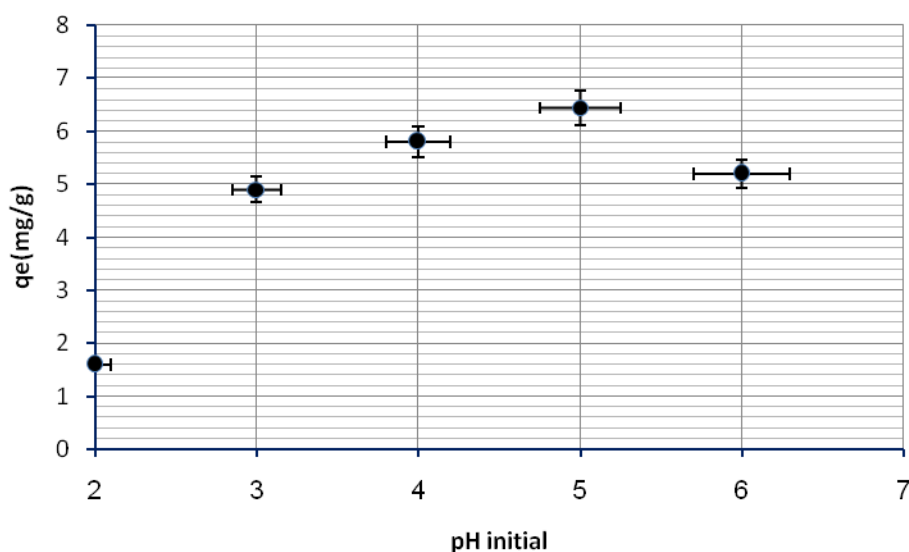


شکل ۴. اثر pH بر روی کینتیک جذب فلز نیکل بوسیله *Pseudomonas* (توده سلولی مرطوب 4% = 0/6 گرم، C_0 برابر 4 میلی‌مولار، سرعت هم‌زدن 300 rpm و درجه حرارت $23 \pm 3^\circ\text{C}$)

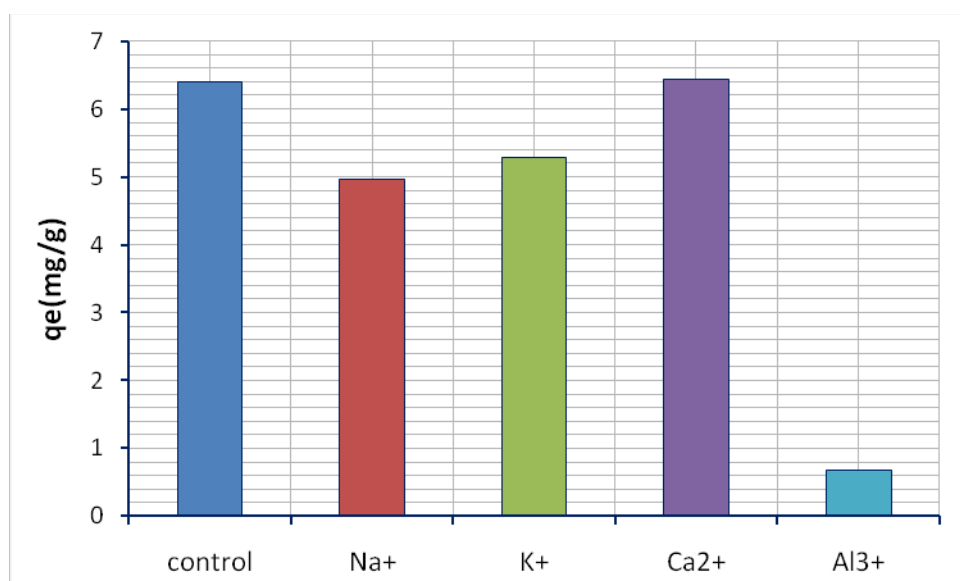
این کاتیون‌ها و نیکل در اتصال به سطح *Pseudomonas* ایجاد کند و باعث کاهش جذب گردد. این اثر در شکل شماره ۶ نشان داده شده است. در شرایط آزمایشگاهی مورد مطالعه، یون‌های سدیم، کلسیم و پتاسیم اثر قابل ملاحظه‌ای بر روی جذب نیکل بوسیله توده سلولی باکتریایی نداشتند.

۲.۵. اثر کاتیونهای پتاسیم، سدیم، کلسیم و آلومینیوم روی جذب نیکل بوسیله *Pseudomonas*

در این آزمایش اثر رقابتی، کاتیون‌های مختلف روی جذب زیستی بر اساس میانگین فلزات مطالعه شده است. زیرا حضور یونهای دیگر می‌تواند، رقابتی بین



شکل ۵. تاثیر pH بر جذب فلز نیکل بوسیله *Pseudomonas*



شکل ۶. اثر کاتیون‌های مختلف بر روی جذب نیکل بوسیله *Pseudomonas*. کنترل: نیکل بصورت تنها (۳ میلی مولار)، نیترات سدیم (۳ میلی مولار)، نیترات پتاسیم (۳ میلی مولار)، نیترات کلسیم ۴ به (۳ میلی مولار)، نیترات آلومینیوم ۹ به (۳ میلی مولار).

مورفولوژی و بیوشیمیایی می‌باشد که در جدول شماره یک نشان داده شده است.

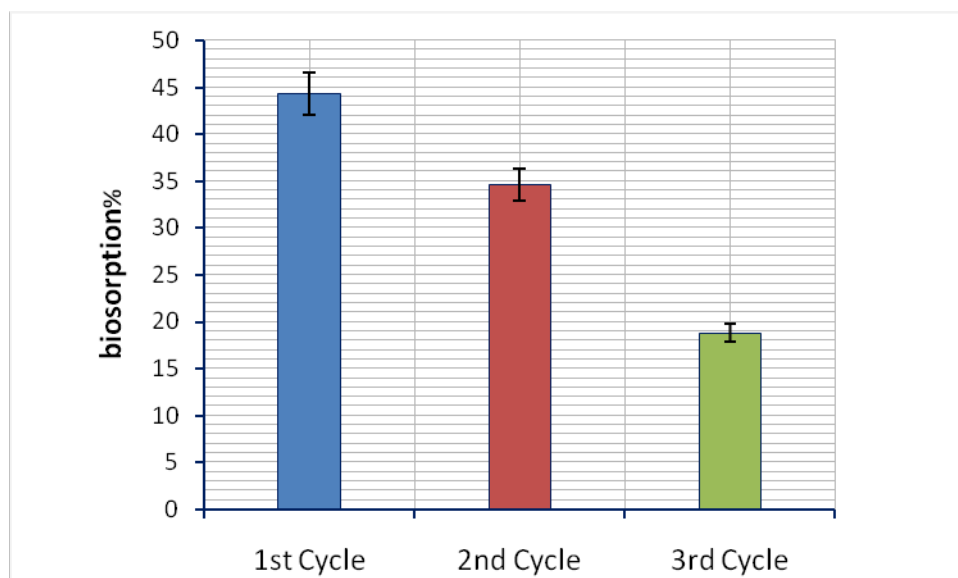
۳. بحث

تکنولوژی جذب زیستی ارزان‌تر بوده و با کارایی بیشتر و بهتری عمل می‌کند. در سال ۲۰۰۸، احمدی و همکاران جذب فلز نیکل را در جلبک قهوه‌ای فوکوس سراتوس مورد بررسی قرار دادند. بیشترین میزان جذب نیکل در این جلبک حدود ۰/۹۴ میلی مول بر گرم و این عدد در *Pseudomonas* مورد مطالعه ۰/۱۱ میلی مول بر گرم بوده است (Ahmady-Asbchin & et al, 2008). میزان جذب فلز نیکل در جلبک‌ها بیشتر از باکتری‌ها می‌باشد. لازم به ذکر است که باکتری مورد مطالعه در مقایسه با جاذب‌های زیستی دیگر دارای کارایی بالاتری بوده، همچنین در مقایسه با جلبک‌ها دارای ویژگی‌های

در حضور این کاتیون‌ها، توده سلولی باکتریایی فلز نیکل را انتخاب نموده است.

۲.۶. استفاده مجدد از باکتری با بکار بردن عوامل رهاساز

در جریان مطالعه جداسازی نیکل از *Pseudomonas* بالاترین درصد جداسازی بوسیله عامل رهاساز اسید نیتریک، در سیکل اول برابر ۴۴٪ بوده است. در این آزمایش بیشترین میزان جذب معادل ۶/۴۴ میلی گرم بر گرم وزن توده سلولی برابر ۱۰۰ می‌باشد، بقیه با آن مقایسه شده است. این میزان در سیکل‌های بعدی کاهش یافته است. این نتایج نشان داد که بعد از ۳ تا ۴ بار تکرار فرایند اتصال-جداسازی^۲، میزان جذب بوسیله *Pseudomonas* کاهش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد (شکل شماره ۷). باکتری جدا شده *Pseudomonas sp.* دارای ویژگی‌های



شکل ۷. جداسازی یون نیکل از *Pseudomonas* بوسیله اسید نیتریک.

1. Desorption
2. Biosorption-desorption

نیکل روی سطح دیواره سلولی می‌گردد. و این نشان‌دهنده آن است که توانایی سطح باکتری در جذب آلومینیوم چندین برابر نیکل است. این کاهش ممکن است به دلیل اجزاء و ترکیبات سلولی سطح *Pseudomonas* باشد (Lu & et al, 2006). استفاده مجدد از جذب زیستی می‌تواند برای کاربردهای صنعتی از *Pseudomonas* در راکتورهای پیوسته مهم باشد.

سپاسگزاری

از سرکار خانم اسلام‌نیا، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی ساری که در انجام این پروژه کمک‌های فراوانی نموده‌اند، تشکر می‌گردد.

مثبت دیگری جز راندمان می‌باشد. از این باکتری می‌توان به عنوان یک جاذب مناسب برای زدودن فلز سمی نیکل از پساب‌های آلوده استفاده کرد. آزمایش‌ها نشان داد که جذب در باکتری مورد مطالعه دو فازی می‌باشد و قسمت بسیار زیادی از این جذب مربوط به فرایند جذب غیروابسته به متابولیسم می‌باشد. استفاده‌های صنعتی و کاربردی از این باکتری به عنوان یک مزیت تلقی می‌شود چون در این روش محدودیت‌های استفاده از سلول زنده وجود نخواهد داشت. در محدوده اثرات pH لازم به یادآوری می‌باشد که در pH=2 پروتون‌ها می‌توانند بر روی دیواره سلولی باکتری تثبیت شده و رقابتی بین یون فلزی نیکل و پروتون در محلول رخ می‌دهد. در نتیجه جایگاه‌های سطحی دیواره *Pseudomonas* بوسیله پروتون‌ها اشغال می‌گردد. در نتیجه برای ادامه آزمایش جهت بهینه‌سازی شرایط جذب از pH برابر ۵/۰ استفاده شده است (Cooksey & Azad, 1992).

در pH بالاتر از ۶/۸۲ نیکل به صورت هیدروکسید رسوب می‌نماید، بنابراین میزان جذب نیز به‌طور منطقی کاهش می‌یابد. مطالعات محققین نشان داده است، که pH در حدود ۵/۰ اثر قابل ملاحظه‌ای بر روی کاهش سلول نداشته است (Cooksey & Azad, 1992). اثر رقابتی، کاتیون‌های مختلف روی جذب نیکل نشان داد که تنها این آلومینیوم می‌باشد که در حضور آن کاهش قابل ملاحظه‌ای در جذب نیکل بوسیله توده سلولی مشاهده شده است و جایگاه‌های موجود در سطح باکتری بوسیله کاتیون آلومینیوم اشغال گردیده و بطور قابل ملاحظه‌ای مانع اتصال

References

- Ahmady-Asbchin, S., Andres, Y., Gerente, C., Le Cloirec, P. (2008) Biosorption of Cu(II) from aqueous solution by *Fucus serratus*. *Bioresource Technology*. 99; 6150-6155.
- Ahmady-Asbchin, S., Bahrami, A.M., (2011). Nickel biosorption by immobilized of *Bacillus* sp. from aqueous solutions. *Advances in Environmental Biology*. 7: 1656-1662.
- Cooksey, D.A, Azad H.R., (1992). Accumulation of copper and other metals by copper-resistant plant pathogenic and Saprophytic pseudomonas. *Applied and Environmental Microbiology*. 58: 27-48.
- Garnham, G.W., Codd, G.A., Gadd, G.M., (1992). Effect of nutritional regime on accumulation of cobalt, manganese and zinc by green microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 37: 270-276
- Lu, W.B., Shi, J.J., Wang and Chang, J.S., (2006). Biosorption of lead, copper and cadmium by an indigenous isolate *Enterobacter* sp. J1 possessing high heavy-metal resistance. *Journal of Hazardous Materials*. 134: 80-86.
- Leusch, A. A., Zdenek R. Holan, B, Volesky (1995) .Biosorption of heavy metal (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) by chemically –reinforced biomass of marine algae. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 62: 279-283.
- Mchale, A.P and Mchale, S., (1994). Microbial biosorption of metals: Potential in the treatment of metal pollution. *Biotechnology Advances*. 12: 647-652
- Norberg, A., Rydin, S., (1984). Development of a continuous process for metal accumulation by *Zoogloea ramigera*. *Biotechnology Bioengineering*. 26: 265-268
- Reddad, Z., Gerente, C., Andres, Y., Le Cloirec, P., (2002). Adsorption of several metal ions onto a low cost biosorbent: Kinetic and Equilibrium Studies. *Environmental Science and Technology*. 36: 2067-2073
- Remacle, J., CRC Press, Boca. (1990) in *Biosorption of Heavy metals* (ed. Volesky) pp. 83-92.
- Soltan ES., (2001) Isolation and Characterization of antibiotic and heavy metal resistance *P. Stutzeri*. *Biometals* 7: 30-40.
- Tsezos, M., Volesky, B. (1982). The mechanism of uranium biosorption by *Rhizopus arrhizus*. *Biotechnology and Bioengineering*. 24: 385-401.
- Volesky B., H.A. May-Phillips. (1995). Biosorption of heavy metal by *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 40: 783-797