



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Kinetic and biosorption isotherm studies on biosorption of nickel and cadmium by using *Halobacillus trueperi* isolated from factory wastewater entry into the Caspian Sea

Davood Siyamiyan Gorgi¹, Ayat Nasrolahi Omran², Salman Ahmady-Asbchin^{3*}

¹M.Sc Student of Biotechnology, Faculty of Basic Science, Islamic Azad University, Tonekabon Branch, Tonekabon, Iran

²Associate Professor of Microbiology, Faculty of Medicine Islamic Azad University Tonekabon Branch, Tonekabon, Iran

³Associate Professor of Microbiology, Faculty of Basic Science, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2023/07/16

Revised: 2025/04/28

Accepted: 2025/03/5

Keywords:

Caspian Sea,

Toxic metals,

Microbial removal,

Isotherm

*Corresponding author:

✉ sa.ahmadi@umz.ac.ir

Doi: [10.52547/joc.15.60.8](https://doi.org/10.52547/joc.15.60.8)

ORID: 0000-0001-6079-1842

ABSTRACT

Background and Objectives: The Caspian Sea is affected by many pollutants, including toxic and heavy metals, which enter the sea through rivers contaminated with urban and industrial wastewater. Heavy metal contamination in wastewater is a significant concern for human health and the environment, prompting increased efforts to develop efficient and sustainable removal methods. Despite significant efforts in the last few decades, further research initiatives remain vital to comprehensively address the long-term performance and practical scalability of various adsorption methods and adsorbents for heavy metal biosorption.

Methods: In this study, *Halobacillus trueperi* bacteria isolated from the waste paint factory Babol were studied molecularly from the perspective of biochemistry. The effects of parameters such as pH, temperature, concentration of metal-on-metal ions, and removal efficiency of nickel and cadmium were investigated. Using the techniques of Fourier transform infrared (FT-IR) and scanning electron microscopy (SEM), effective bio-absorption was analyzed.

Findings: The highest adsorption rate of cadmium and nickel metal ions was observed by bacteria studied at pH of about 6 and 7, respectively, so that higher pH was observed due to metal ion deposition, and lower pH due to reduced adsorption competition. The best temperature for adsorption in both metals was about 40 degrees Celsius. Kinetics showed that the adsorption of metal ions in the opening minutes of rapid reaction kinetics has gradually reduced slope. The highest metal removal is performed in the first 15 minutes and then slowly continued adsorption and equilibrium within 90 minutes. This is especially important in an industry that in a very short time the bacteria can remove more metal from an aqueous solution. Isogram Langmuir described the adsorption of cadmium and nickel metals well by equilibrium experimental data.

Conclusion: Results showed that maximum absorption of metal uptake (maximum adsorption capacity of the adsorbent) in about 0/5 and 0/7 mmol per gram (mmol / g) dry adsorbent. SEM analysis showed that the metals were absorbed by bacterial surface groups. After contact with the bacterium, the surface shape of the bacterium changed. Most of the adsorption of metals is inactive, so this adsorbent can be used dead and inactive.



NUMBER OF TABLES

3



NUMBER OF FIGURES

10



NUMBER OF REFERENCES

25

مقاله پژوهشی

مطالعات سینتیک و ایزوترم جذب زیستی فلزات سنگین نیکل و کادمیم توسط باکتری *Halobacillus trueperi* جداسازی شده از پساب کارخانه ورودی به دریای مازندران

داود صیامیان گرجی^۱، آیت نصراله‌ای عمران^۲، سلمان احمدی اسب چین^{۳*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن، تنکابن، ایران

^۲ دانشیار میکروبیولوژی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن، تنکابن، ایران

^۳ دانشیار میکروبیولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه مازندران، بابل، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۲۵ تاریخ بازبینی: ۱۴۰۴/۲/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵	پیشینه و اهداف: دریای مازندران، بوسیله آلودگی های زیادی تحدید می شود، یکی از این الاینده ها، فلزهای سمی و سنگین هستند، که از طریق رودخانه های آلوده به فاضلاب های شهری و صنایع، وارد دریا می گردند. آلودگی فلزات سنگین در فاضلاب یک نگرانی قابل توجه برای سلامت انسان و محیط زیست است که باعث افزایش تلاش ها برای توسعه روش های حذف کارآمد و پایدار می شود. علی رغم تلاش های قابل توجه در چند دهه اخیر، ابتکارات تحقیقاتی بیشتر برای رسیدگی جامع به عملکرد بلندمدت و مقیاس پذیری عملی روش های مختلف جذب و جذب ها برای جذب فلزات سنگین حیاتی است. روش ها: در این پژوهش باکتری گرم مثبت <i>هالوباسیلوس تروپری</i> جداسازی شده از پساب کارخانه تولید رنگ بابل ورودی به دریای مازندران، از منظر بیوشیمیایی، مولکولی، مورد بررسی قرار گرفته، و سپس اثر پارامترهایی مانند pH، درجه حرارت، غلظت فلز بر بازده حذف یون های فلزی نیکل و کادمیم بررسی شد. با استفاده از تکنیک های طیف سنجی تبدیل فوری به زیرقرمز (FT-IR) و میکروسکوپی الکترون روبشی (SEM) سطوح درگیر در جذب زیستی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. یافته ها: بیشترین مقدار جذب یون های فلزی کادمیم و نیکل به وسیله ی باکتری مورد مطالعه در pH حدود ۶ و ۷ به ترتیب بود، به طوری که در pH های بالاتر در مورد یون های فلزی بدلیل رسوب یون فلزی، و در pH های پایین تر بدلیل رقابت کاهش جذب مشاهده شد. بهترین دما برای جذب در هر دو فلز حدود ۴۰ درجه سانتی گراد بوده است. بررسی سینتیک نشان داد، فرایند جذب یون های فلزی در دقایق آغازین واکنش از سینتیک سریعی برخوردار است که به تدریج از شیب آن کاسته می شود. بیشترین میزان حذف یون های فلزی در ۱۵ دقیقه اول صورت می گیرد و در بعد از آن فرایند جذب به آرامی ادامه یافته و در مدت زمان ۹۰ دقیقه به تعادل می رسد. این موضوع از آن جهت حایز اهمیت صنعتی است که در مدت زمان کم باکتری می تواند بیش تر فلز ها را از محلول آبی حذف نماید. ایزوترم لانگمویر، توسط داده های تجربی تعادلی جذب فلزات کادمیم و نیکل را به خوبی توصیف نمود. نتیجه گیری: نتایج جذب نشان داد که بیشترین مقدار جذب فلز (ظرفیت جذب بیشینه ی جاذب) در حدود ۰/۵ و ۰/۷ میلی مول بر گرم جاذب خشک است. آنالیز SEM نشان داد، که فلز های مذکور جذب گروه های سطحی باکتری گردیدند، به طوریکه بعد از تماس با باکتری فرم شکل سطحی باکتری دچار تغییر گردید. بیشتر جذب فلز ها به صورت غیرفعال است در نتیجه می توان از این جاذب به صورت مرده و غیرفعال نیز استفاده کرد.
واژگان کلیدی: دریای مازندران فلزات سمی حذف میکروبی ایزوترم *نویسنده مسئول ✉ sa.ahmadi@umz.ac.ir Doi: 10.52547/joc.15.60.8 ORID: 0000-0001-6079-1842	

مقدمه

پیشرفت روزافزون صنایع در دهه‌ی اخیر مهم‌ترین عامل آلودگی محیط زیست بوده و پساب‌های صنایع مختلف مانند چرم‌سازی، استخراج معادن و پتروشیمی باعث ورود مقادیر زیادی از فلزات سنگین مانند کروم، کادمیم، نیکل، کبالت، روی و سرب به محیط زیست می‌شود. حضور فلزات سمی در محیط اثرات زیانباری در سلامت انسان و حیوانات داشته و موجب برهم خوردن تعادل و نظم اکوسیستم می‌شود (Abdel El-Latif et al., 2009:252-268).

حفظ محیط زیست از آلودگی‌هایی که به‌وسیله‌ی صنایع و فناوری مدرن ایجاد می‌شود، یکی از نگرانی‌های امروزی پژوهش‌گران و صاحبان صنایع است. در این میان، از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیست، فلز سنگین کادمیم و نیکل است. (Al-Ashesh et al., 1997:35-51)

در خصوص فلز سمی و سنگین کادمیم بیان شده است، وقتی در خاک وجود داشته باشد، بسیار خطرناک است و جذب آن از طریق غذا افزایش می‌یابد. در خاک‌های اسیدی، گیاهان کادمیم بیشتری را جذب می‌کنند. در نتیجه زندگی و بقای جانورانی که از این گیاهان تغذیه می‌کنند به خطر می‌افتد. به همین علت میزان کادمیم در کلیه گاوها افزایش می‌یابد (Al-Gheethi et al., 2017:1700356). جانورانی مانند، کرم‌های خاکی و دیگر ارگانیسم‌های خاک به سم کادمیم بسیار حساسند. غلظت بسیار کم این ماده هم آنها را از بین می‌برد و در نتیجه ساختار خاک تغییر می‌کند. هنگامی که غلظت کادمیم در خاک بالا باشد، فرآیندهایی که میکروارگانیسم‌ها در خاک انجام می‌دهند، مختل می‌شود و کل اکوسیستم خاک در معرض خطر قرار می‌گیرد (Amini et al., 2008:694-702).

فلز نیکل هم از طریق منابع طبیعی و هم با فعالیت انسانی به محیط زیست وارد می‌شود. این فلز در هوا، آب، خاک و مواد زیستی نیز وجود دارد. نیکل هم به صورت فلز و هم به صورت ترکیب محلول می‌تواند وجود داشته باشد (Ahlualwalia et al., 2007:2243-2257). بخار سولفید نیکل سرطان‌زا می‌باشد که در موقع استفاده از آن باید دقت لازم را به عمل آورد. از لحاظ تقسیم بندی برنامه سم‌شناسی ملی آمریکا^۱ NTP، نیکل و ترکیبات آن جز عوامل سرطان‌زا محسوب میشوند (Amoozegar et al., 2015:355-378). براساس بررسی‌های سازمان‌های بهداشت جهانی^۲ مشخص شده است که تعداد زیادی از مردم به طرق مختلف در معرض مخاطرات ناشی از جذب فلزات سنگین قرار دارند. حذف فلزات سنگین به صورت کلی از دو منظر اهمیت دارد، جداسازی و خنثی کردن اثرات فلزات سنگین سمی از پساب‌های صنعتی، زهکش‌های کشاورزی و معادن و از طرف دیگر بازیابی فلزات که به دلیل کاهش تدریجی منابع معدنی آن‌ها موضوعی ضروری است (Aneja et al., 2010:438-442). جذب زیستی به عنوان روش مناسب برای حذف مقادیر کم فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی مطرح شده است. مطالعات محققین نشان داده است

که روش‌های زیستی می‌تواند شرایط اقتصادی تر و کارآمدتری را در مقایسه با بسیاری از روش‌های فیزیکی و شیمیایی فراهم کند (Ansari et al., 2007:3149-3153).

روش زیستی می‌تواند، به وسیله‌ی سلول‌های زنده، مرده و ترکیبات ترشح‌شده از سلول‌ها مثل انواع متابولیت‌های سلولی، ترکیبات پلی-ساکاریدی و دیگر اجزای دیواره سلولی انجام شود. سازوکارهای جذب به وسیله‌ی سلول‌های مرده و زنده با هم متفاوت است و میزان جذب، ظرفیت پذیرش و تغلیظ فلزات در میکروارگانیسم‌های مختلف نیز یکسان نیست (Carletti et al., 2013:1329-1336).

فاضلابی که به تصفیه خانه‌ی شهری می‌رسد، مجموع فاضلاب‌هایی است که از سه منبع مختلف، در شبکه فاضلاب وارد می‌شود. این سه منبع عبارت‌اند از: فاضلاب خانگی، نشت آب، و پساب صنعتی. بنا بر تعریف، مجموعه‌ی فاضلاب حاصل از سه منبع مذکور را فاضلاب شهری یا فاضلاب بهداشتی می‌نامند (Jabar Nezhad Kermani et al., 2010:279-286).

وقتی نگرانی‌های انسان زیاد می‌شود که بدانیم روش‌های تصفیه‌ی فیزیکی و شیمیایی برای چنین پساب‌هایی نمی‌تواند با استانداردهای زیست-محیطی تطبیق کند، زیرا اغلب روش‌های فیزیکی و شیمیایی هنگامی که غلظت‌های فلزات سنگین و سمی در محیط‌های آلوده در گستره‌ی ۱۰ تا ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر باشد، غیر موثر و غیر اقتصادی است (Das et al., 2012:341-352). در حالی که غلظت مجاز یون‌های فلزات سنگین بر طبق نظر آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده^۳ کم‌تر از ۱ میلی گرم بر لیتر است (Aeanda-Garcia 2018:94).

مهم‌ترین جایگاه‌های جذب یا مکان‌های اتصال یون فلزی در باکتری‌ها شامل کپسول ولایه‌ی چسبناک هستند که به عنوان یک بافر بین باکتری و محیط بیرون عمل می‌کند و جنس اکثر آن‌ها پلی‌ساکارید بوده و واجد گروه‌های هیدروکسیل، کربوکسیل، آمین و غیره است که در اتصال به یون فلزی نقش دارند. نقش این ترکیبات در جذب زیست‌شناختی میکروبی بوسیله وولسکی و همکاران اثبات شده است (Ayanbenro et al., 2017:94).

کارلتی و همکاران در پژوهش خود نشان دادند که سیستم بیوراکتور غشایی قادر به حذف ۷۰٪ فلزات سمی مانند سرب، آهن، کادمیم، مس و نیکل از نمونه حقیقی پساب بود (Carletti et al., 2013:1329-1336). جباری نژاد و همکاران به مطالعه باکتری *Sodomonas آیروزینوزا*^۴ به عنوان جاذب زیستی کادمیم پرداختند و نشان دادند، توانایی حذف فلز کادمیم از محلول آبی در حدود ۹۵ درصد بوده است (Jabar Nezhad Kermani et al., 2010:279-286). داس و همکاران در سال ۲۰۱۲ به مطالعه حذف زیستی فلز نیکل بوسیله باکتری *Sinobacter* که بررسی فلزات سمی و سنگین بوسیله این دسته از باکتری‌ها با مشکلات فراوانی کی باشد پرداختند و حذف فلز نیکل بوسیله *Oscillatoria لاتویرنس*^۵ را در

³ United States Environmental Protection Agency: USEPA

⁴ *Pseudomonas aeruginosa*

⁵ *Oscillatoria laetevirens*

¹ National Toxicology Program: NTP

² World Health Organization: WHO

استفاده از ترازوی تجزیه‌ای مدل SBP221 ساخت کارخانه‌ی سارتورس آلمان، با دقت چهار رقم اعشار توزین شد. سپس با انحلال در آب مقطر در داخل یک بالن ژوژه‌ی ۱۰۰ میلی‌لیتری محلول آن تهیه شد. برای تنظیم pH محلول‌های نیکل و کادمیم از هیدروکلریدریک اسید و سدیم هیدروکسید ۰/۱ مولار استفاده شد.

تجزیه‌ی عیارسنجی یون‌های فلزی کادمیم و نیکل، قبل و بعد از هر آزمایش به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی^۲ AA240FS، ساخت شرکت Varain آمریکا دانشکده‌ی شیمی دانشگاه مازندران به انجام رسید.

بررسی سطوح درگیر در فرایند جذب یون‌های فلزی کادمیم و

نیکل

در این مطالعه برای تشخیص سطوح فعال و گروه‌های عاملی درگیر در فرایند جذب یون‌های فلزی مورد بررسی یعنی کادمیم و نیکل از تکنیک طیف‌سنجی تبدیل فوری‌ی زیرقرمز^۳ استفاده شد. برای انجام این آزمایش باکتری به‌صورت انفرادی و هم‌چنین همراه با یون‌های فلزی نیکل و کادمیم در شرایط مشابه به مدت دو ساعت در محیط مایع قرار داده شد. آن‌گاه باکتری‌ها در سانتیفریوژ تحت عمل جداسازی قرار گرفته و رسوب حاصل به مدت ۲۴ ساعت در درجه حرارت ۶۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. خشک‌کردن به این دلیل است که طیف حاصل از آب مزاحمت ایجاد نکند. سپس باکتری‌ها به صورت انفرادی و همراه با فلز نیکل و کادمیم، پودر شده و قرص پتاسیم برمید^۴ از آن‌ها تهیه شده، و با استفاده از تکنیک طیف‌سنجی تبدیل فوری‌ی زیرقرمز مورد تجزیه‌ی و تحلیل قرار گرفت

حدود ۸۵ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش دادند (Das et al., 2012:836-845).

هدف این پژوهش، استفاده از باکتری‌های جداسازی‌شده از پساب کارخانه‌ی تولید رنگ بابل به منظور حذف یون‌های فلزی نیکل و کادمیم از محلول‌های آبی است. سینتیک و ایزوترم جذب و اثرات دما و غلظت باکتری و pH محیط باکتری بر توانایی جاذب برای جذب و حذف یون‌های فلز نیکل و کادمیم نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

روش پژوهش

جاذب زیستی، ویژگی‌های ریخت‌شناختی جدایه‌ها و آزمون‌های

بیوشیمیایی و مولکولی

باکتری جداسازی‌شده از پساب کارخانه‌ی تولید رنگ بابل کنار به عنوان جاذب زیستی مورد استفاده قرار گرفت. باکتری از سه منظر مورفولوژی، بیوشیمیایی و مولکولی بررسی و درصد نزدیکی آن به کدام باکتری مشخص گردید برای بدست آوردن بیومس باکتریایی برای انجام آزمایش، باکتری‌های جداسازی شده، در محیط نوترین آگار داخل یک پلیت کشت‌داده شد، و سپس داخل یک ارلن در محیط کشت نوترین براث و در دمای ۴۰ درجه‌ی سلسیوس داخل یک انکوباتور (دستگاه انکوباتور شیکر دار شرکت آرا تجهیز، ساخت ایران) با سرعت ۱۵۰ rpm به مدت ۷۲ ساعت گرمادهی شد تا باکتری رشد کند. در ادامه، با استفاده از سانتیفریوژ (دستگاه سانتیفریوژ سنتورپون ساینترفیک^۱)، باکتری از محیط کشت جدا شده و به صورت یک توده‌ی زیستی در آمد. نمونه‌های پساب پس از جمع‌آوری، با روش علمی به آزمایشگاه میکروبیولوژی صنعتی دانشگاه مازندران انتقال یافت.

در این پژوهش تعداد هفت نمونه باکتری جداسازی و مورد بررسی قرار گرفت. برای ریخت‌شناسی کلنی جدایه‌ها، پس از چندین مرحله تجدید کشت و اطمینان از خلوص جدایه‌ها، براساس تفاوت در ویژگی‌های ریخت-شناختی، جدایه‌ی W6 برای مطالعات بعدی انتخاب شد (جدول ۱). هم-چنین برای شناسایی جدایه‌ها آزمون‌های بیوشیمیایی بررسی فعالیت کاتالازی و اکسیدازی، MR-VP، TSI، تولید اندول، حرکت، تولید گاز هیدروژن سولفید و مصرف سیترات انجام شد. جدایه‌ها هم‌چنین از نظر واکنش گرم و ریخت‌شناسی سلولی مورد بررسی قرار گرفتند (جدول‌های ۱ و ۲)

نتایج بیوشیمیایی دلیل بر فعالیت کاتالازی مثبت، فعالیت اکسیدازی منفی، باکتری سیترات را به عنوان منبع کربن استفاده کرده و حرکت در باکتری مثبت بوده و باکتری توانایی استفاده از قندهای لاکتوز، ساکارز و گلوکز را نیز دارد.

تهیه‌ی محلول‌های یون‌های فلزی کادمیم و نیکل و تجزیه‌ی

عیارسنجی آن‌ها

برای تهیه‌ی محلول یون‌های فلزی نیکل و کادمیم به ترتیب از نمک‌های $\text{NiCl}_2\text{H}_2\text{O}$ و $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2\text{H}_2\text{O}$ استفاده شد. نمک‌های مورد نظر با

^۲ Atomic absorption spectrometer (AAS = AA240FS Varian)

^۳ Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR)

^۴ Potassium bromide (KBr)

^۱ Scientific Centurion

جدول ۱. ویژگی‌های ریخت‌شناختی جدایه‌های مورد بررسی در این تحقیق

جدایه‌ها	شکل کلی	پیگمان‌زایی	منظره‌ی سطح کلی	حاشیه‌ی کلی	برجستگی کلی	عطر کلی
W-1	نامنظم (اسفنجی)	کرم روشن	آتشغشانی	موج دار	برآمده	تند
W-2	نقطه‌ای	سفید	خشک	صاف و کامل	کمی برآمده	ملایم
W-3	کروی	سفید مات	نرم و براق	صاف و کامل	برآمده	تند
W-4	کروی	زرد	نرم و براق	صاف و کامل	مسطح و صاف	تند
W-5	کروی	سفید مات	نیمه‌شفاف و براق	صاف و کامل	برآمده	ملایم
W-6	نقطه‌ای	زرد روشن	نرم و براق	صاف و کامل	برآمده	ملایم
W-7	نقطه‌ای	سفید	نرم و براق	صاف و کامل	برآمده	ملایم

جدول ۲. خصوصیات بیوشیمیایی جدایه‌های مورد بررسی در این تحقیق

جدایه	MR	VP	فعالیت کاتالازی	فعالیت اکسیدازی	TSI	مصرف سیترات	تولید اندول	حرکت	رنگ آمیزی گرم	تولید گاز H_2S
W-1	-	-	+	+	K/K	+	-	+	+	-
W-2	+	-	+	-	A/A	+	-	+	+	-
W-3	+	+	-	+	K/K	+	-	-	+	-
W-4	+	-	-	-	A/A	+	-	+	+	-
W-5	-	-	+	-	K/K	+	-	+	+	-
W-6	+	+	+	-	A/A	+	-	+	+	-
W-7	+	+	+	-	K/A	+	-	+	+	-

مجزا، در مورد فلز کادمیم و نیکل ۳ نمونه برداشت شده و مورد تجزیه‌ی عیارسنجی قرار گرفت. با توجه به سه تکرار بر هر فلز در نهایت ۳۶ نمونه برای فلز کادمیم و ۳۶ نمونه برای فلز نیکل صورت گرفت. سینتیک جذب برای بررسی مکانیسم کنترل کننده در فرآیند جذب زیستی مانند انتقال جرم و واکنش شیمیایی بکار می‌رود. متداول‌ترین این مدل‌ها، مدل‌های شبه درجه اول و شبه درجه دوم هستند (Bailey et al., 1999:2469-2479).

۶-۱- مدل شبه درجه اول

در مدل شبه درجه اول که مدل لاگ‌گرن^۱ هم نامیده می‌شود، فرض می‌شود که سرعت اشغال سایت جذب متناسب با تعداد سایت‌های اشغال نشده است.

$$\frac{dq}{dt} = K_1 (q_e - q_t) \quad (\text{معادله ۳})$$

در این معادله q_e و q_t به ترتیب میزان جذب فلز در زمان t و میزان جذب فلز در زمان تعادل بر حسب میلی گرم بر گرم بوده و K_1 ثابت سرعت واکنش درجه اول بر حسب min^{-1} است. با انتگرال‌گیری از معادله و اعمال شرط اولیه $q(0)=0$ معادله زیر بدست می‌آید:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 t \quad (\text{معادله ۴})$$

از برازش خطی این معادله بر داده‌های آزمایشگاهی، می‌توان متغیرها و مقادیر q_e و K_1 را از قرار زیر به دست آورد (Baral et al., 2006:216-222).

۶-۲- مدل شبه درجه دوم

در مدل شبه درجه دوم، فرض می‌شود که سرعت اشغال سایت‌های جذب متناسب با مجذور تعداد سایت‌های اشغال نشده است.

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 (q_e - q_t)^2 \quad (\text{معادله ۵})$$

که در آن K_2 ثابت سرعت واکنش درجه دوم بر حسب $\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ است. با انتگرال‌گیری از معادله و اعمال شرط اولیه $q(0)=0$ ، معادله زیر به دست می‌آید:

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_t} + K_2 t \quad (\text{معادله ۶})$$

این معادله معمولاً به شکل خطی زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (\text{معادله ۷})$$

با رسم نقاط t/q_t حسب t که از داده‌های آزمایشی به دست آمده‌اند، مقدار q_e و K_2 را می‌توان از شیب و عرض از مبدا خط حاصل، تعیین کرد (Padmesh et al., 2006:37-44; Nakano et al., 2001:496-500; Li et al., 2011:1177-1188).

۶-۳- ایزوترم لانگمویر

ایزوترم لانگمویر معمولاً برای تعیین پتانسیل جذب تعادلی و سنجش کارایی زیست توده‌های مختلف استفاده می‌شود. در ابتدا این مدل برای توصیف عملکرد کربن فعال در جذب گاز به کار گرفته شد. در ایزوترم لانگمویر، پیوندهای سطحی ناشی از نیروهای فیزیکی در نظر گرفته

بررسی اثر pH محلول یون‌های فلزی بر روی فرایند جذب

عامل pH یکی از پارامترهای مهمی است که در جذب زیستی فلزات سنگین تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای دارد، لذا برای انجام این آزمایش‌ها محلول‌های یون‌های فلزی نیکل و کادمیم با pHهای متفاوت در گستره‌ی ۲ تا ۱۲ و با گام ۲ تهیه شد. از pH متر دیجیتالی مدل ۷۸۰ ساخت شرکت متروآهم کشور سوئیس برای اندازه‌گیری pH محلول‌ها استفاده شد.

آزمایش‌های جذب زیستی، حذف یون‌های کادمیم و نیکل

به‌منظور بررسی جذب یون‌های فلزی کادمیم و نیکل توسط باکتری مورد مطالعه مقادیر معینی از آن‌ها با ترازوی دیجیتالی ساخت کشور آلمان (مدل SBP221) با دقت 0.0001 توزین و در داخل ارلن مایر ۲۵۰ میلی-لیتری در مقدار معینی آب مقطر حل و pH آن در مقدار معینی تنظیم شد. آن‌گاه نمونه به مدت ۳ ساعت در انکوباتور شیکردار با سرعت ۱۰۰ rpm گرمادهی شد. آن‌گاه، سوسپانسیون توسط کاغذ صافی ۴۵ میکرو-متری واتمن صاف شد. آن‌گاه نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی مورد تجزیه‌ی عیارسنجی قرار گرفت. برای بررسی اثر غلظت اولیه‌ی یون فلزی، مقدار جاذب، pH اولیه‌ی محلول، آزمایش‌هایی در شرایط مختلف انجام شد تا شرایط بهینه‌ی ظرفیت جذب بیشینه ($q_{\max}$) مشخص شود. پارامتر q که برحسب میلی گرم یون فلزی جذب شده به ازای یک گرم جاذب خشک بیان می‌شود، از رابطه‌ی زیر به‌دست آمد (Bulut et al., 2006:259-267).

که در آن V حجم محلول (لیتر)، C_i و C_e ، به ترتیب، غلظت اولیه- و غلظت تعادلی یون فلزی، (میلی گرم بر لیتر)، M جرم جاذب (گرم) است.

$$q = \frac{V(C_i - C_e)}{M} \quad (\text{معادله ۱})$$

درصد جذب می‌تواند از رابطه‌ی زیر به‌دست آید:

$$\text{درصد جذب} = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \quad (\text{معادله ۲})$$

که در آن مشابه معادله ۱ پارامتر C_i غلظت اولیه فلز با واحد میلی گرم بر لیتر، C_e غلظت تعادلی یون فلزی با واحد میلی گرم بر لیتر می‌باشد.

بررسی سینتیکی و ایزوترمی فرایند جذب یون‌های فلزی کادمیم و نیکل

برای تعیین سینتیک واکنش جذب، در یک ظرف یک لیتری محلول‌های یون‌های فلزی نیکل و کادمیم با غلظت‌های ۴ و ۶ میلی گرم بر لیتر و با pH برابر شش، همراه با مقدار 0.2 گرم باکتری در 37 درجه‌ی سانتی گراد گرمادهی شد. در زمان‌های مشخص صفر (لحظه اول)، ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۱۴۴۰ دقیقه مقدار ۵ میلی لیتر از محلول برای عیارسنجی یون‌های فلزی آنالیز شد. آزمایش‌های سینتیکی شامل ۳ تیمار و برای همه‌ی زمان‌ها انجام گردید. به عنوان نمونه در زمان ۱۵ دقیقه بعد از تماس باکتری با یون‌های فلزی مورد مطالعه، به‌طور

¹ Lagergren

ارزیابی جذب فعال یا غیر فعال فلز نیکل و کادمیم

به منظور به دست آوردن باکتری غیرفعال، سلول‌هایی که در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده بودند استفاده گردید. بعد انجام این مرحله به منظور نشان دادن غیرفعال شدن باکتری‌ها، سلول‌های تیمار شده به روش فوق در محیط کشت نوترینت آگار به روش خطی کشت داده شدند. برای انجام این آزمایش هرکدام از سلول تیمار شده و همچنین سلول‌های شاهد را به مدت دو ساعت در مجاورت محلول فلزی نیکل و کادمیم با میزان هشت میلی‌گرم بر لیتر در دمای ۳۷ درجه سانت‌گراد داخل یک انکوباتور شیکردار (۱۵۰rpm) قرار گرفت. پس از گذشت این زمان با استفاده از سرنگ، پنج میلی‌لیتر از نمونه را برداشته و از فیلتر سرسنگی با مش ۰/۴۵ میکرومتر گذرانده شد تا نمونه عاری از باکتری باشد. سپس میزان فلز نیکل و کادمیم در محلول بوسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Kulkarni et al., 2014:1628-1635).

شرح، بحث و یافته‌ها

شناسایی مولکولی و درخت فیلوژنی جدایه منتخب با تعیین توالی

ژن *16S rDNA*

جهت شناسایی مولکولی جدایه منتخب واکنش زنجیره ای پلیمرز ژن *16S rDNA* به کمک پرایمرهای عمومی 27F و 1492R انجام شد. محصول PCR با کمک الکتروفورز ژل آگارز رنگ شده با safe stain بررسی شد.

ژن *16S rDNA* جدایه W-6 توسط شرکت ماکروژن کره جنوبی تعیین توالی شد. با انجام BLAST و مقایسه اطلاعات موجود در بانک ژنی NCBI. درصد همولوژی جدایه W-6 با سایر باکتری‌های بانک اطلاعاتی به دست آمد. نتایج BLAST نشان داد که جدایه منتخب با ۹۹/۶۲٪ همولوژی به *هالوباسیلوس تروپری*^۱ شباهت داشت. درخت فیلوژنی جدایه W-6 با استفاده از نرم افزار MEGA 6 با روش Maximum likelihood رسم شد. بنابراین برای تایید این آزمایش‌های بیوشیمیایی و مورفولوژیکی، آزمایش مولکولی صورت گرفت و باکتری با تقریب حدود ۹۹ درصد به جنس *هالوباسیلوس* و گونه *تروپری* نزدیک است.

۲- بررسی خصوصیات سطح باکتری قبل و بعد از فرایند جذب

ساختار سطحی سلول باکتری بویژه بخش‌های دیواره سلولی که دارای جنس پپتیدوگلیکانی است، قبل از اتصال فلز دارای ساختاری منظم و منسج می‌باشد (شکل ۲، بخش ج) اما بعد از آنکه فلزهای کادمیم و نیکل به گروه‌های سطحی دیواره سلولی بویژه کربوکسیل (COO⁻) متصل گردیده و تغییراتی دیده می‌شود (شکل ۲، بخش الف و ب) البته برای تایید این فرایند، و درک صحیح‌تر این جذب زیستی، درصد حضور فلزات و عناصر در باکتری را می‌توان قبل و بعد از اتصال فلزهای مذکور مورد بررسی قرار داد.

می‌شوند. بنابراین جذب فقط به صورت تک لایه‌ای انجام می‌شود و فرض بر این است که میل کششی همه جایگاه‌ها برای جذب شونده یکسان است. این ایزوترم به طور وسیعی برای توصیف رفتار تعادلی بین فاز مایع و یک فاز جامد استفاده می‌شود.

این مدل به خوبی با مقادیر وسیعی از اطلاعات آزمایشگاهی مطابقت دارد. این ایزوترم به شکل سهمی است و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$q_e = \frac{q_{max} b_L C_e}{1 + b_L C_e} \quad (\text{معادله ۸})$$

که در آن q_{max} بیانگر تعداد کل سایت‌های جاذب زیستی است که برای پیوند با فلزات در دسترس هستند. و دارای یکای میلی گرم بر گرم است. پارامتر q_e بیانگر تعداد سایت‌های پیوند واقعی است که از جذب شونده، اشغال شده است. ثابت تعادل لانگمویر b_L دارای یکای لیتر بر میلی گرم می‌باشد. مدل لانگمویر برای تخمین بیشینه میزان جذب به کار می‌رود. ثابت b_L میزان وابستگی بین جایگاه‌های فعال و فلز را نشان می‌دهد و تابعی از انرژی جذب می‌باشد. مقدار بالای b_L نشانگر شیب تند در ابتدای منحنی ایزوترم جذب می‌باشد که نماینده میزان بالای کشش بین جاذب و جذب شونده است. بنابراین برای یک جاذب بطور کلی بالا بودن q_{max} و شیب تند در ابتدای منحنی مطلوب به نظر می‌رسد (Escudero et al., 2013: 129-138; Zha et al., 2017: 284-293).

۴-۶- ایزوترم فروندلیچ

این مدل در سال ۱۹۰۷ به عنوان یک رابطه‌ی تجربی توسط فروندلیچ ارائه شد اما بعدها برای مدلسازی جذب چند لایه‌ای روی سطوح ناهمگن یا سطوحی با جایگاه‌های فعال متفاوت از نظر کنش و میل ترکیبی با جذب شونده به کار گرفته شد. این مدل برعکس مدل لانگمویر، بیشینه ظرفیت جاذب را مشخص نمی‌کند و به همین علت فقط در غلظت‌های پایین تا متوسط کاربرد دارد. در این مدل فرض می‌شود ابتدا جایگاه‌های قوی‌تر پر می‌شوند و قدرت پیوندی با افزایش میزان پرشدگی جایگاه، کاهش می‌یابد. این ایزوترم به شکل نمایی است و به شکل زیر ارائه می‌شود:

$$q_e = K_F C_e^{1/n_F} \quad (\text{معادله ۹})$$

که در آن K_F و n_F ثابت‌های فروندلیچ می‌باشند. در ایزوترم فروندلیچ، K_F و n_F به ترتیب میزان و شدت جذب را نشان می‌دهند. مقدار n_F بین یک تا ده نشان‌دهنده جذب مناسب می‌باشد (Bas et al., 2007: 836-845).

تاثیر دما محلول فلزی بر جذب فلز نیکل و کادمیم

برای تعیین دمای بهینه در یک ظرف یک لیتری محلول فلزی نیکل با غلظت ۸ میلی‌گرم بر لیتر افزوده و مقدار ۰/۲ گرم باکتری به آن اضافه گردید. سپس ارلن حاوی باکتری و فلزهای نیکل و کادمیم در دماهای ۵، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت قرار گرفت. پس از گذشت این زمان با استفاده از سرنگ، پنج میلی‌لیتر از نمونه را برداشته و از فیلتر سرسنگی با مش ۰/۴۵ میکرومتر گذرانده شد تا نمونه عاری از باکتری باشد. سپس میزان فلز نیکل در محلول بوسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Bulut et al., 2006: 259-267).

¹ *Halobacillus trueperi*

اثر پارامتر pH بر جذب های فلز های مورد مطالعه بوسله جدایه منتخب

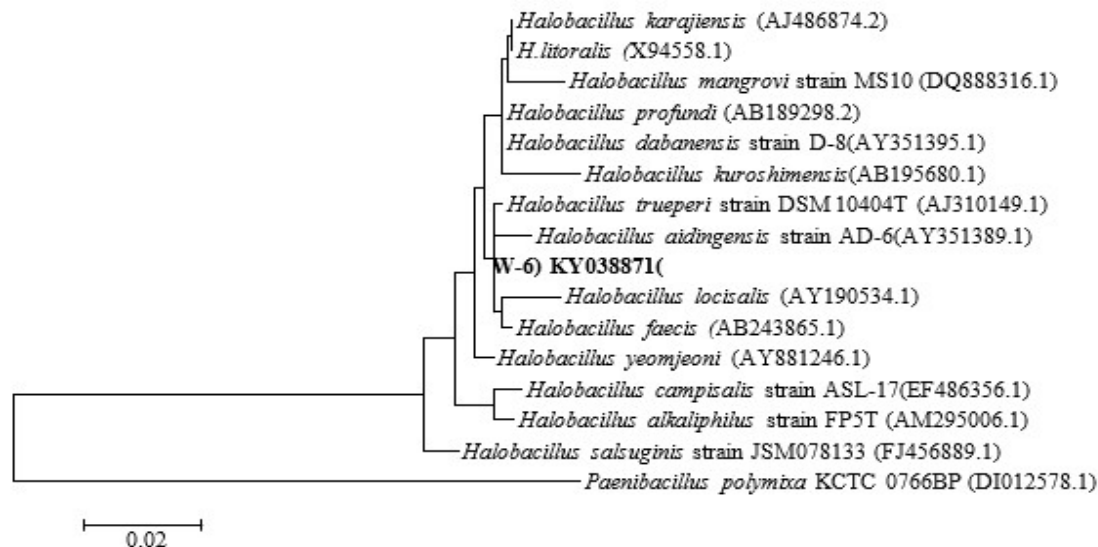
نتایج این بررسی نشان داد که pH های خیلی بالا و خیلی پایین برای هر دو فلز نیکل و کادمیم منجر به کاهش میزان جذب می شود. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است. میزان جذب فلز نیکل بوسیله باکتری در pH کمتر از سه اندک است زیرا بین یون های مثبت و یون فلزی نیکل برای اتصال به سطح باکتری رقابت به وجود می آید، زیرا تعداد سطوح فعال باکتری ها/هالوباسیلوس تروپری ثابت و فلز های نیکل و کادمیم برای رسیدن به این سطوح با یون های پروتون محلول رقابت می کنند و باعث کاهش جذب می شود. با افزایش pH جذب نیز افزایش می یابد. بیشینه جذب در pH حدود شش است ولی در pH بالای هشت جذب به تدریج کاهش می یابد. در خصوص فلز کادمیم pH بهینه جذب در حدود پنج بوده و در محدوده های زیر دو جذب به شدت کاهش می یابد و بالای شش نیز جذب شروع به کم شدن می گردد (Masoumi et al., 2016:950-957).

بررسی حذف یون های نیکل و کادمیم به وسیله ی باکتری زنده و مرده (فعال و غیر فعال)

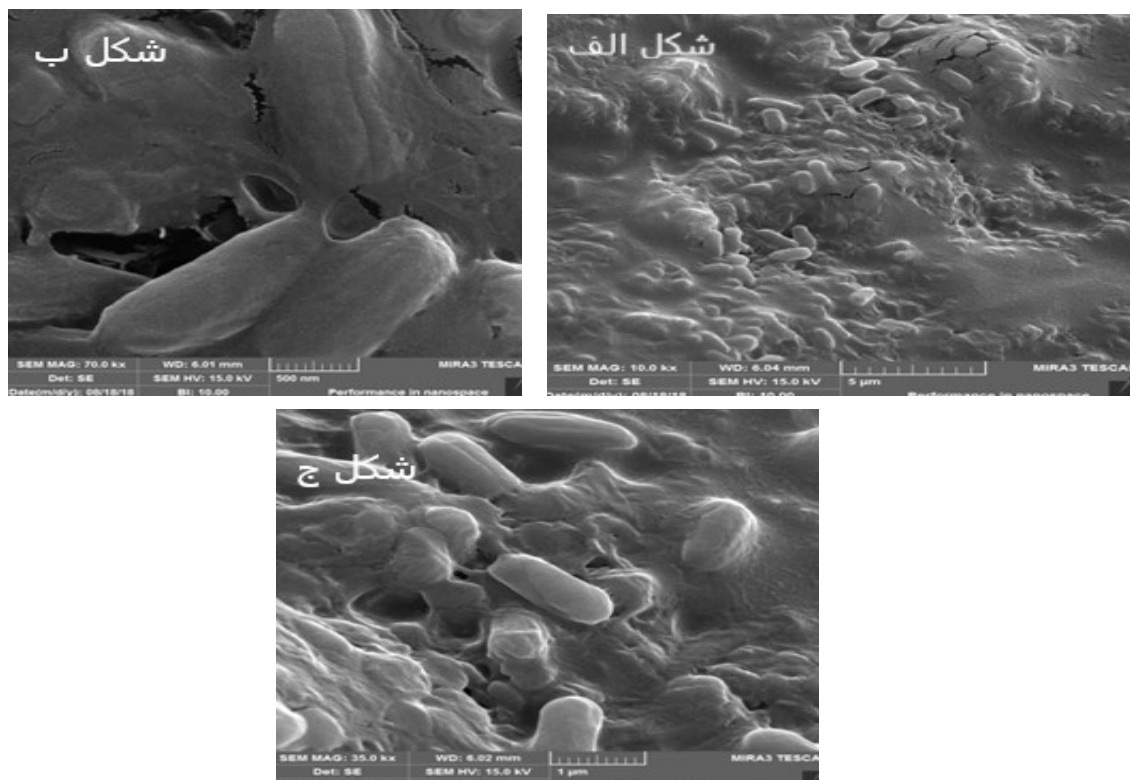
نتایج آزمون های حذف یون های فلزی به وسیله ی باکتری مرده و زنده (شکل ۴)، نشان داده است که جدایه ی مورد مطالعه، کاندیدای مناسب برای حذف یون فلزی نیکل و کادمیم از محلول های آبی است. بیش تر جذب فلز به صورت غیر فعال است. در نتیجه می توان از این جاذب به صورت مرده و غیر فعال نیز استفاده کرد. البته نتایج این بخش نشان داده که باکتری مورد مطالعه بصورت غیر اکتیو و مرده برای جذب فلز نیکل دارای رادمان بالاتری در مقایسه با فلز کادمیم است.

بررسی اثر دما بر فرایند جذب یون های فلز نیکل و کادمیم

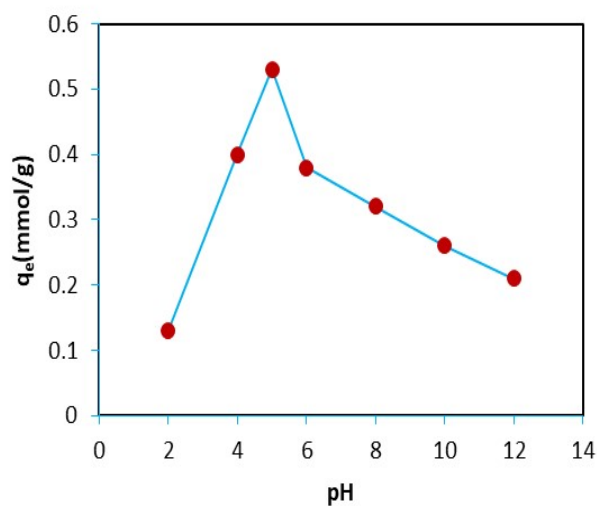
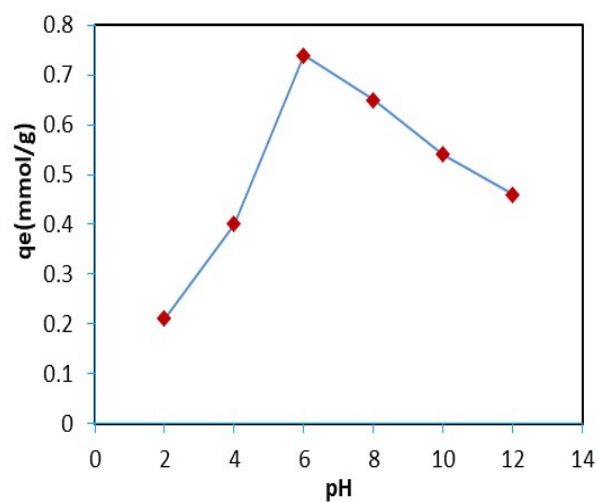
بنابراین در محدوده دمایی بین ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی گراد میزان جذب افزایش می یابد، به طوری که در درجه حرارت ۴۰ درجه سانتی گراد بیشترین میزان جذب را مشاهده می نماییم. در نتیجه با افزایش دما مقدار جذب افزایش می یابد. زیرا با افزایش دما تعداد برخوردها بین یون های فلزی کادمیم و نیکل و سطح جاذب زیاد شده و میزان جذب افزایش می یابد (شکل ۵).



شکل ۱- دندروگرام توالی ژن 16S rDNA جدایه W-6 با شماره دستیابی KY038871 که با جنس هالوباسیلوس قرابت نشان داد. اعداد ذکر شده در محل انشعاب، نشانگر درصد نمونه گیری Bootstrap از ۱۰۰۰ نمونه است. باکتری سودوموناس آتروژینوزا به عنوان Out Group انتخاب شده است.



شکل ۲- ریزنگاره‌ی میکروسکوپی الکترون روبشی باکتری- نیکل (شکل الف)، باکتری-کادمیم (شکل ب) و باکتری بدون اتصال فلز (شکل ج).



شکل ۳- اثر pH بر روی فرایند جذب یون فلزی: (راست) نیکل، (چپ) کادمیم به وسیله باکتری (دما ۳۷ درجه سانتی گراد، مقدار جاذب ۱ گرم بر لیتر، غلظت اولیه یون فلزی ۴ میلی گرم بر لیتر، زمان ماند ۳ ساعت).



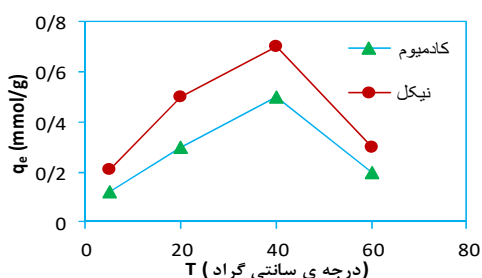
شکل ۴- حذف یون‌های فلزی نیکل و کادمیم به وسیله ی باکتری زنده و مرده (فعال و غیر فعال).

رسم نمودار خطی لانگمویر ماکزیمم جذب فلز نیکل و کادمیم بدست آمد و بر این اساس جدول سه نیز طراحی گردید.

سینتیک فرایند حذف یون‌های فلزی نیکل و کادمیم به وسیله ی باکتری مورد مطالعه

همان گونه که در بخش مواد و روش‌ها بیان شد، بررسی سینتیک حذف یون‌های فلزی نیکل و کادمیم به صورت مجزا انجام شد. نتیجه ی بررسی - سینتیک فرایند حذف یون‌های فلزی نیکل به وسیله ی باکتری جداسازی شده در شکل ۹ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود فرایند جذب یون‌های فلزی نیکل در دقایق آغازین واکنش از سینتیک سریعی برخوردار است که به تدریج از شیب آن کاسته می شود. بیشترین میزان حذف یون‌های فلزی نیکل در ۱۵ دقیقه ی اول صورت گرفته و در بعد از آن فرایند جذب به آرامی ادامه یافته و در مدت زمان ۹۰ دقیقه به تعادل رسید. این موضوع از جهت صنعتی حایز اهمیت است که در مدت زمان نسبتاً کم باکتری می تواند بیش تر فلز را حذف نماید.

درمورد حذف یون‌های فلزی کادمیم (شکل ۱۰) مشاهده گردید که فرایند جذب فلز با آهنگ کندتری در مقایسه با یون‌های فلزی نیکل صورت می گیرد. البته برای تفسیر دقیق تر این موضوع رابطه های ایزوترم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.



شکل ۵- اثر پارامتر دما بر ظرفیت جذب باکتری مورد مطالعه برای یون های فلزی نیکل و کادمیم.

در دمای بالاتر از دمای مطلوب جهت رشد باکتری می تواند به دلیل از دست رفتن فعالیت متابولیکی سلول در دماهای بالا باشد (بالاتر از ۴۵ درجه سلسیوس) که این موضوع باعث به تأخیر افتادن فرایند تقسیم سلولی می گردد تا زمانی که باکتری خود را با شرایط دمایی موجود سازگار کرده و رشد خود را مجدداً آغاز کند. همچنین تاخیر در رشد باکتری در دمای ۴۵ درجه سلسیوس به دلیل کاهش فعالیت آنزیم های اختصاصی است که باعث می شود باکتری دیرتر فاز لگاریتمی خود را آغاز کند.

مدل ایزوترم جذب سطحی

شکل خطی مدل ایزوترم لانگمویر در نمونه های مورد مطالعه به صورت معادله زیر قرار می گیرد.

$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} b} + \frac{c_e}{q_{\max}} \quad (\text{معادله } 10)$$

این معادله تبدیل به معادله

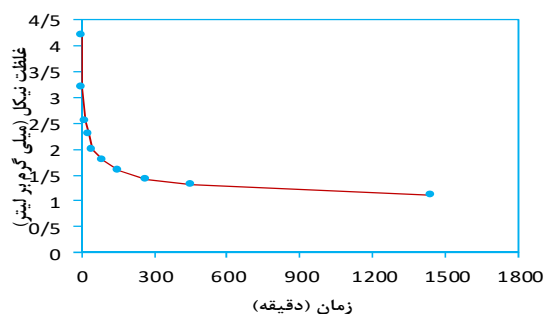
زیر می گردد: معادله (۱۱)

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} b c_e} + \frac{1}{q_{\max}}$$

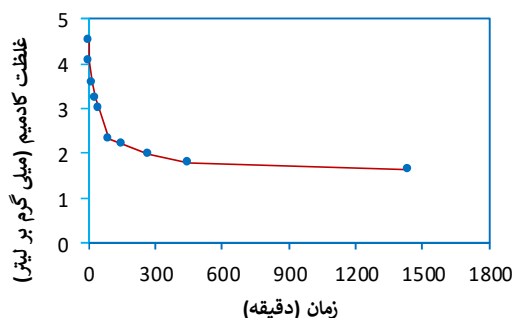
که در آن، q_e بیانگر مقدار تعادلی فلز جذب شده، $q_{\max}$ ظرفیت جذب بیشینه ی جاذب و b ثابت لانگمویر (l/mg) و نشان دهنده ی قدرت پیوند جاذب با فلز است که به آن ضریب تمایل به جذب و انرژی جذب زیستی هم می گویند. وقتی مقدار b بین صفر تا یک باشد، جذب مطلوب است (Kulkarni et al., 2014:1628-1635). با رسم نمودار تغییرات q_e - در برابر C_e ، پارامترهای مدل لانگمویر به دست می آید (جدول ۳). با توجه مقدار R^2 برای جذب هردو یون فلزی توسط باکتری مورد مطالعه، می توان گفت که داده های تجربی با ایزوترم لانگمویر به خوبی توصیف می شوند. از طرف دیگر مقادیر $q_{\max}$ پیش بینی شده توسط مدل لانگمویر با داده های تجربی همخوانی خوبی دارد. شکل های ۵ و ۶ ایزوترم لانگمویر جذب یون های فلزی کادمیم و نیکل در شرایط بهینه را نشان می دهد. از طرفی با

جدول ۳- پارامترهای لانگمویر برای جذب یون‌های فلزی نیکل و کادمیم

یون فلزی	R^2	b_L (لیتر بر میلی مول)	q_m (میلی مول بر گرم)
کادمیم	۰/۹۹۶	۳۲/۸۹	۰/۷۶
نیکل	۰/۹۹۶	۶۰/۶	۰/۵۵



شکل ۸- سینتیک فرایند حذف یون‌های فلزی نیکل به‌وسیله‌ی باکتری مورد مطالعه.

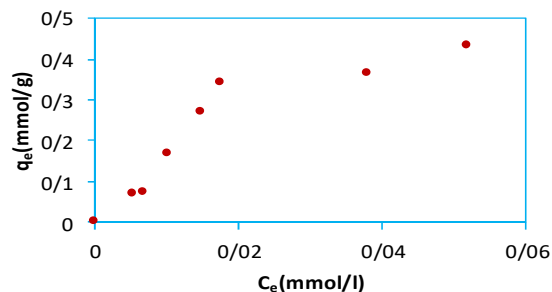


شکل ۹- سینتیک فرایند حذف یون‌های فلزی کادمیم به‌وسیله‌ی باکتری مورد مطالعه.

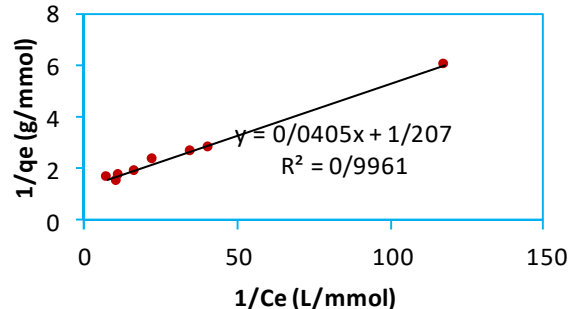
نتیجه‌گیری

در مطالعه‌ای که معصومی و همکاران روی جذب زیستی فلزهای سمی و سنگین نیکل و سرب توسط باکتری *Curtobacterium sp. FM*

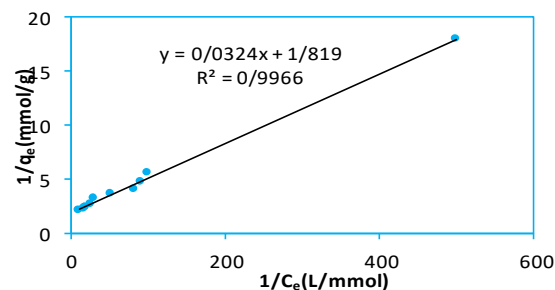
انجام شد نیز جذب ابتدایی سریع و جذب ثانویه با سرعت پایین اتفاق افتاد که مشابه این تحقیق بوده است (Masoumi et al., 2016:950-957). همچنین بررسی جذب نیکل توسط باکتری *Bacillus laterosporus* (MTCC 1628) علاوه بر دو مرحله‌ای بودن سینتیک جذب، نشان داد که سرعت جذب در ۱۰ دقیقه ابتدای آزمایش بسیار بالا بود (Kulkarni et al., 2014:1628-1635). باکتری هالوباسیلوس تروپری مورد مطالعه قرار گرفته و دارای بیشینه میزان جذب بالایی برای فلز کادمیم و نیکل به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۵۵ میلی مول بر گرم وزن خشک



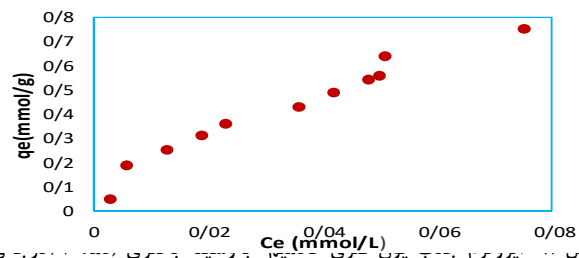
شکل ۶- نمودار جذب فلز نیکل به‌وسیله‌ی باکتری (دما، ۳۷ درجه‌ی سانتی گراد؛ pH ۷؛ مقدار جاذب، ۰/۲ گرم بر لیتر؛ زمان ماند ۲ ساعت



شکل ۷- ایزوترم لانگمویر برای جذب یون فلزی نیکل به‌وسیله‌ی باکتری جداسازی‌شده (دما، ۳۷ درجه‌ی سانتی گراد؛ pH ۷؛ مقدار جاذب، ۰/۲ گرم بر لیتر؛ زمان ماند ۲ ساعت).



کل ۹- ایزوترم لانگمویر برای جذب یون فلزی کادمیم به‌وسیله‌ی باکتری جداسازی‌شده (دما، ۳۷ درجه‌ی سانتی گراد؛ pH ۷؛ مقدار جاذب، ۰/۲ گرم بر لیتر؛ زمان ماند ۲ ساعت).



شکل ۹- نمودار جذب فلز کادمیم به‌وسیله‌ی باکتری (دما، ۳۷ درجه‌ی سانتی گراد؛ pH ۷؛ مقدار جاذب، ۰/۲ گرم بر لیتر؛ زمان ماند ۲ ساعت).

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/clen.201700356>

[6] Amini M., Younesi H., Bahramifar N., Lorestani A.A.Z., Ghorbani F., Daneshi A., Sharifzadeh, (2008). Application of response surface methodology for optimization of lead biosorption in an aqueous solution by *Aspergillus niger*. J. Hazard. Mater, 154(1-3), 694-702. (8 pages).

https://www.giesm.net/article_23205.html

[7] Amoozegar M.A., Siroosi M. (2015). Hydrolytic enzymes in halophilic bacteria, properties and biotechnological potential. Halophiles. (2015). 355-378 (23 pages).

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-14595-2_13

[8] Ansari M.I., Malik A. (2007). Biosorption of nickel and cadmium by metal resistant bacterial isolates from agricultural soil irrigated with industrial wastewater. Bioresour. Technol., 98(16), 3149-3153. (5 pages).

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096085240600530X>

[10] Aranda-Garcia E., Cristiani-Urbina, E., 2018. Kinetic, Equilibrium, and Thermodynamic Analyses of Ni (II) Biosorption from Aqueous Solution by Acorn Shell of *Quercus crassipes*. Water Air Soil Pollut. 229(4), 119-136. (17 pages).

<https://inis.iaea.org/records/5aaam-r8m76>

[11] Ayangbenro AS., Babalola O.O. (2017). A new strategy for heavy metal polluted environments: a review of microbial biosorbents. Int. J. Environ. Res. Public Health. 19;14(1), 94. (16 pages).

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28106848/>

[12] Bailey S.E., Olin T.J., Bricka R.M., Adrian D.D. [1999]. A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. Water Res. 33(11), 2469-2479. (11 pages).

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135498004758>

[13] Baral S.S., Das S.N., Rath P. [2006]. Hexavalent chromium removal from aqueous solution by adsorption on treated sawdust. Biochem. Eng. J. 31(3), 216-222. (7 pages).

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369703X06002014>

[14] Baş D., Boyacı I.H. [2007]. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. Int. J. Food Eng. International. 78(3), 836-845. (9 pages).

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877405007843>

[15] Bulut Y., Aydın H. 2006. A kinetics and thermodynamics study of methylene blue adsorption on wheat shells. Desalination, 194(1-3), 259-267. (8 pages).

بوده است. این مطالعه نشان داد، که جذب زیستی فعال و غیر فعال روش مناسبی برای حذف فلزات سمی و سنگین از محلول‌های آبی است. در این رابطه باکتری جداسازی شده از پساب کارخانه‌ی رنگ بابل کنار از کارایی خوبی برخوردار بوده و می‌تواند کاندید مناسبی برای حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی باشد.

مشارکت نویسندگان

این مقاله از پایان نامه آقای داود صیامیان گرجی، به راهنمایی جناب آقای دکتر آیت نصرالهی عمران از دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تنکابن، و مشاوره آقای دکتر سلمان احمدی اسب چین از دانشگاه مازندران، انجام گردید. کار تحقیق و پایان نامه در دانشگاه مازندران و در آزمایشگاه میکروبیولوژی صنعتی آقای دکتر سلمان احمدی اسب چین، نویسنده مسئول این مقاله انجام گردید، نگارش مقاله نیز بر عهده ایشان بوده است.

تعارض منافع

این مقاله بر اساس «تعارض حرفه‌ای و مالکیت فکری: ارتقای سازمانی و نظریات تخصصی شخصی اینجانب به‌عنوان نویسنده مسئول گردآوری شده است.» هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع

[1] Abd El-Latif M. M., Ibrahim A.M. (2009). Adsorption, kinetic, and equilibrium studies on removal of basic dye from aqueous solutions using hydrolyzed oak sawdust. Desalin. Water Treat. 6(1-3), 252-268. (16 pages).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1944398624144475?via%3Dihub>

[2] Afyuni M. (2011). Ion-exchange process for ammonium removal and release using natural Iranian zeolite. Appl. Clay Sci, 51(3), 323-329. (9 pages).

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X17307122>

[3] Ahluwalia S.S., Goyal D. (2007). Microbial and plant-derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. Bioresour. Technol. 98(12), 2243-2257. (14 pages).

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852405005675>

[4] Al-Asheh S., Duvnjak Z. (1997). Sorption of cadmium and other heavy metals by pine bark. J. Hazard. Mater. 56(1-2), 35-51. (16 pages).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030438949700040X>

[5] Al-Gheethi A., Mohamed R., Noman E., Ismail N., Kadir, O.A. (2017). Removal of Heavy Metal Ions from Aqueous Solutions Using *Bacillus subtilis* Biomass Pre-Treated by Supercritical Carbon Dioxide. Clean - Soil, Air, Water, 45(10), 1700356. (192 pages).

metal ions onto a novel IDA-chelating resin: isotherm and kinetic modeling. Water Res.45(3), 1177-1188. **(10 pages)**.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135410007712>

[22] Padmesh T.V.N., Vijayaraghavan K., Sekaran G., Velan M., 2006. Application of two-and three-parameter isotherm models: biosorption of acid red 88 onto *Azolla microphylla*. Bioremediation J.10(1-2), 37-44. **(7 pages)**.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10889860600842746>

[23] Nakano Y., Takeshita K., Tsu,tsumi, T. (2001). Adsorption mechanism of hexavalent chromium by redox within condensed-tannin gel. Water Res..35(2), 496-500. **(5 pages)**.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135400002797>

[24] Masoumi F., Khadivinia E., Alidoust L., Mansourinejad Z., Shahryari S., Safaei, M., Noghabi, K. A.(2016). Nickel and lead biosorption by *Curtobacterium* sp. FM01, an indigenous bacterium isolated from farmland soils of northeast Iran. J. Environ. Chem. Eng. 4(1), 950-957. **(7 pages)**.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343715301147>

[25] Zha B., Liu A., Wu G., Li D., Guan Y.(2017). Characterization of heavy metal desorption from road-deposited sediment under acid rain scenarios. J. Environ. Sci.51, 284-293. **(9 pages)**.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074216302376>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916406003791>

[16] Carletti G., Pavan P., Bolzonella D., Cavinato C.[2013]. Occurrence and Removal of Heavy Metals from Industrial and Municipal Wastewater: a Comparison between MBR and Conventional Activated Sludge Processes (CAS)", Interuniversity Consortium "Chemistry for the Environment (INCA), via delle Industrie 2118 Marghera, Venice, Italy.1329-1336.. **(17 pages)**.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135418300630>

[17] Das S., Biosorption of chromium and nickel by dried biomass of *Cyanobacterium Oscillatoria laetevirens*. Int. J. Environ. Sci. Technol. 3(1): 341-352. **(11 pages)**.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Biosorption-of-chromium-and-nickel-by-dried-biomass-Das/40fad5a71e2cf6d5431f62cf1ade8665d3c7a4ea>

[18] Escudero C., Poch J., Villaescusa I.(2013). Modelling of breakthrough curves of single and binary mixtures of Cu (II), Cd (II), Ni (II), and Pb (II) sorption onto grape stalks waste. Chem. Eng. J.217, 129-138... **(9 pages)**.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894712015902>

[19] Kulkarni R.M., Shetty K.V., Srinikethan G. [2014]. Cadmium (II) and nickel (II) biosorption by *Bacillus laterosporus* (MTCC 1628). J. Taiwan Inst. Chem. Eng. .45(4), 1628-1635. **(7 pages)**.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1876107013003064>

[20] Jabbari Nezhad Kermani A., Faezi M., Khosravan A., Farahmand A., Shakibaei M., (2010). Cadmium bioremediation by metal-resistant mutated bacteria isolated from active sludge of industrial effluent. J. Environ. Health Sci. Eng.7(4): 279-286. **(7 pages)**.

<https://www.sid.ir/paper/566954/en>

[21] Li L., Liu F., Jing X., Ling P., Li A. (2011). Displacement mechanism of binary competitive adsorption for aqueous divalent

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Nasrolahi Omran, A., Associate Professor of Microbiology, Faculty of Medicine Islamic Azad University Tonekabon Branch, Tonekabon, Iran.

✉ ayat51@yahoo.co.in

 [0000-0003-3381-0467](https://orcid.org/0000-0003-3381-0467)

Syamian Gori, D., M.Sc candidate, biotechnology, Faculty of Basic Science, Islamic Azad University, Tonekabon Branch, Tonekabon, Iran

✉ davood_siyamiyan@yahoo.co



Ahmady-Asbchin, S., Associate Professor of Microbiology, Faculty of Basic Science, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

✉ sa.ahmadi@umz.ac.ir

 [0000-0001-6079-1842](https://orcid.org/0000-0001-6079-1842)

این قسمت توسط نشریه تکمیل می گردد:

	HOW TO CITE THIS ARTICLE Citation (Vancouver)  http://doi.org/10.52547/joc.15.60.8  http://joc.inio.ac.ir/article-1-1763-fa.html  https://orcid.org/0000-0001-6079-1842
	COPYRIGHTS ©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.