

The Phytoremediation of Nickel Ion-Containing Aqueous Solution by Egyptian Lotus and *Cyperus Alternifolius*

M. Niroomand Hoseini¹, M. R. Hojjati²

1. MSc Student, Dept. of Chemical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

2. Assoc. Prof., Dept. of Chemical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran, Postal Code: 74731-71987
(Corresponding Author) Hojjati_m@iaushiraz.ac.ir

(Received Aug. 3, 2018 Accepted Jan. 23, 2019)

To cite this article:

Niroomand Hoseini, M., Hojjati, M. R., 2019. The phytoremediation of nickel ion-containing aqueous solution by egyptian lotus and cyperus alternifolius." Journal of Water and Wastewater, 30(6), 99-106. Doi: 10.22093/wwj.2019.143054.2728. (In Persian)

Abstract

Today the Phytoremediation is used as an effective and inexpensive method for filtering water from contaminated areas. In this study, to absorb nickel two types of plants, Egyptian lotus and *Cyperus alternifolius*, are used. For this, ponds with Egyptian lotus and *Cyperus alternifolius* are used which contain nickel-ion concentrations of 2, 5, 10 and 15 mg/L and pH is 5.5, 6.5, 7.5 and 8.5. The test temperature is constant at 25 °C. The best absorption after 20 days was determined for Egyptian lotus plants at a concentration of 2 ppm and pH=5.5 and for the *Cyperus alternifolius* plant at a concentration of 2 ppm and pH=6.5. Adsorption isotherm studies with Langmuir and Freundlich models shows that nickel-ion adsorption behavior for *Cyperus alternifolius* and Egyptian lotus is followed by Freundlich and Langmuir isotherms respectively. Roots, leaves and stems analysis after nickel absorption with atomic absorption spectroscopy shows that for both plants roots have the greatest share, 79.9 and 86.39 percent for *Cyperus alternifolius* and Egyptian lotus, respectively.

Keywords: Phytoremediation, Nickel Ion, Egyptian Lotus, *Cyperus Alternifolius*, Treatment.

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۰، شماره ۶، صفحه: ۹۹-۱۰۶

گیاه پالایی محلول آبی حاوی یون نیکل توسط نیلوفر آبی و نخل مرداب

مرضیه نیرومند حسینی^۱، سید محمود رضا حجتی^۲۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، واحد شیراز،
دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران۲- دانشیار، گروه مهندسی شیمی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران،
کدپستی ۷۱۹۸۷-۷۴۷۳۱
(نویسنده مسئول) Hojati_m@iaushiraz.ac.ir

پذیرش ۹۷/۱۱/۲

دریافت ۹۷/۵/۱۱

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

نیرومند حسینی، م.، حجتی، س. م. ر.، ۱۳۹۸، "گیاه پالایی محلول آبی حاوی یون نیکل توسط نیلوفر آبی و نخل مرداب"
مجله آب و فاضلاب، ۳۰(۶)، ۹۹-۱۰۶. Doi: 10.22093/wwj.2019.143054.2728

چکیده

امروزه از گیاه پالایی به عنوان روشی مؤثر و کم هزینه برای تصفیه آب‌های آلوده استفاده می‌شود. در این پژوهش برای جذب یون نیکل، از دو گیاه نیلوفر آبی و نخل مرداب استفاده شد. به این منظور از چهار حوضچه نیلوفر آبی و چهار حوضچه نخل مرداب که غلظت یون نیکل در آنها ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر و pH محلول به ترتیب ۵/۵، ۶/۵، ۷/۵ و ۸/۵ بود، استفاده شد. دمای آزمایش برای تمام نمونه‌ها ۲۵ درجه سلسیوس و ثابت بود. مشاهده شد پس از ۲۰ روز، بیشترین مقدار جذب برای گیاه نخل مرداب، در شرایط غلظت ۲ppm و pH برابر ۵/۵ و برای گیاه نیلوفر آبی، در غلظت ۲ppm و pH برابر ۶/۵ است. بررسی جذب هم‌دما به وسیله مدل‌های لانگمیر و فروندلیچ نشان داد که رفتار جذب نیکل برای گیاه نخل مرداب و نیلوفر آبی به ترتیب از مدل فروندلیچ و لانگمیر پیروی می‌کند. آنالیز اندام‌های ریشه، برگ و ساقه نمونه‌ها پس از پایان جذب نیکل، به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی انجام شد و نتایج نشان داد که ریشه هر دو گیاه بیشترین سهم جذب را نسبت به سایر اندام‌های گیاه دارند به نحوی که مقدار جذب در ریشه نخل مرداب و نیلوفر آبی به ترتیب ۷۹/۹ و ۸۶/۳۹ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: گیاه پالایی، یون نیکل، نیلوفر آبی، نخل مرداب، تصفیه

۱- مقدمه

حذف فلزات سنگین از منابع آب و خاک، اهمیت به‌سزایی دارد (Dehghani Firouzabadi et al., 2017). صنایع معدنی، فرایندهای ذوب و تصفیه فلزات، فاضلاب‌های صنعتی، صنایع نظامی، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و فاضلاب کارخانجات باتری‌سازی از مهم‌ترین منابع تولید این آلاینده‌ها به‌شمار می‌روند (Sa'ad et al., 2011).

برای حذف فلزات سنگین از منابع آب و خاک، اهمیت به‌سزایی دارد (Dehghani Firouzabadi et al., 2017). صنایع معدنی، فرایندهای ذوب و تصفیه فلزات، فاضلاب‌های صنعتی، صنایع نظامی، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و فاضلاب کارخانجات باتری‌سازی از مهم‌ترین منابع تولید این آلاینده‌ها به‌شمار می‌روند (Sa'ad et al., 2011).

نیکل یکی از متداول‌ترین فلزات سنگین است که می‌تواند مسمومیت مزمن ایجاد نماید (Smialowicz et al., 1984).

احمدی اسب چین و جعفری در پژوهشی به‌منظور جذب زیستی فلز نیکل به‌وسیله باکتری سودوموناس^۱ نشان دادند که میزان

گیاه پالایی به دلیل زیست‌سازگاری، ارزان و مؤثر بودن برای

¹Pseudomonas

مدل لانگمیر و فروندلیچ بررسی شد. دلیل انتخاب نخل مرداب و نیلوفر آبی در این پژوهش، عدم بررسی این گیاهان برای حذف یون نیکل در پژوهش‌های گذشته و همچنین بومی بودن این گیاهان در مناطق مختلفی از کشور از جمله استان خوزستان، مازندران و مناطقی از فارس است (Fallahi et al., 2011).

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش نیترات نیکل ۶ آبه (مرک^۲ آلمان) و آب بدون یون برای ساخت محلول استفاده شد.

گیاه شش ماهه نخل مرداب و نیلوفر آبی تهیه شد. در تهیه گونه‌ها سعی شد، سن هر دو گونه یکسان باشد. برای نگهداری گیاهان در محلول آبی، از مخزن شیشه‌ای استفاده شد. برای ساخت این مخزن، یک مکعب مستطیل به ابعاد ۱۲۰×۱۵×۲۰ سانتی‌متر ساخته و توسط ۷ تیغه شیشه‌ای ۱۵×۲۰ سانتی‌متر، از هم جدا و به ۸ قسمت تقسیم شد.

معمولاً در پژوهش‌های انجام شده در بحث گیاه پالایی، به جای نمونه پساب واقعی، از محلول آبی سنتز شده استفاده می‌شود تا میزان ترکیبات موجود در محیط کنترل شود و بررسی پارامترهای مختلف بر میزان حذف یون توسط گیاه، با دقت بیشتری انجام شود (Naghipour et al., 2018).

در این پژوهش ابتدا غلظت‌هایی از یون نیکل در آب مقطر ساخته شد. سپس گیاه نیلوفر آبی و نخل مرداب، در مخزن آزمایش که از قبل تهیه شده بود، قرار داده شدند. برای ساخت محلول حاوی یون نیکل، مقدار معینی نیترات نیکل در یک بالن ۵۰۰ میلی‌لیتری حل شد و توسط آب مقطر به حجم رسانده شد.

۳ لیتر آب مقطر در هر مخزن ریخته شد و محلول حاوی یون به آنها اضافه شد. با توجه به اینکه pHهای بیشتر از ۹ و کمتر از ۴، منجر به تخریب گیاه می‌شود و از طرفی محدوده pH در پژوهش‌های گذشته، بین ۴ تا ۸ بوده است، در این پژوهش نیز، pH محیط بر اساس طراحی آزمایش برابر ۵/۵، ۶/۵، ۷/۵ و ۸/۵ تنظیم شد. (Ahmadi Asbchin and Jafari, 2013, Gholi

Kandi et al., 2012)

هر مخزن، حاوی یک گیاه و یک غلظت جداگانه بود و دمای هر

میزان جذب نیکل، ۶/۴۴ میلی‌گرم بر گرم جاذب است (Ahmadi Asbchin and Jafari, 2013).

میشرا و تریپاتی در سال ۲۰۰۹ به بررسی حذف فلزات کروم و روی از محلول آبی به وسیله سنبل آبی پرداختند و میزان جذب برای این دو یون را به ترتیب ۸۴ و ۹۵ درصد گزارش نمودند (Mishra and Tripathi, 2009).

نتایج پژوهش حسن و همکاران در سال ۲۰۰۷ بر روی جذب فلزات کادمیم و روی از محلول آبی به وسیله سنبل آبی نشان داد که این گیاه می‌تواند ۸۰ درصد یون کادمیم را جذب نماید (Hasan et al., 2007).

آلوارادو و همکاران در سال ۲۰۰۸ نشان دادند، گیاه سنبل آبی می‌تواند در مدت ۲۱ روز، غلظت آرسنیک را از ۶۰۰ ppm به ۰/۱۵ ppm تقلیل دهد (Alvarado et al., 2008).

گوپتا و بالوماجومدر در سال ۲۰۱۵ در پژوهشی به حذف کروم و فنل توسط سنبل آبی پرداختند و نشان دادند که میزان جذب یون کروم در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر و در مدت ۱۶ روز به میزان ۹۹ درصد و برای فنل در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و در مدت ۱۴ روز به میزان ۹۹/۸ درصد است (Gupta and Balomajumder, 2015).

در پژوهشی دیگر، ژنگ و همکاران در سال ۲۰۰۹ توانستند یون مس را از محلول آبی، توسط ریشه گیاه سنبل آبی حذف کنند که میزان جذب، ۲۲/۷ ppm گزارش شد (Zheng et al., 2009).

موسوی و ثقه‌الاسلامی در سال ۲۰۱۳ به پژوهشی مروری بر روش‌های گیاه پالایی پرداختند. در این پژوهش از گیاه گونه براسیکا^۱ برای حذف کادمیم استفاده شد و درصد جذب، برابر ۲۸ درصد حاصل شد. همچنین این گونه برای حذف یون روی از خاک نیز مورد استفاده قرار گرفت و میزان حذف بین ۱۳ تا ۴۸ درصد گزارش شد (Moosavi and Seghatoleslami, 2013).

در این پژوهش، حذف یون نیکل توسط گیاه نیلوفر آبی و نخل مرداب در شرایط آزمایشگاهی و میزان تأثیر متغیرهای دما، زمان و pH بر روی اندام‌های ریشه، ساقه و برگ گیاه بررسی شد. پس از تعیین مقدار جذب نیکل در اندام‌های مختلف گیاه، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر جرمی، مقدار جذب نیکل با استفاده از دو

² Merck

¹ Brassica

که در این معادله M مقدار نیکل جذب شده، 3L حجم آب در هر مخزن، C_i غلظت اولیه و C_0 غلظت ثانویه نیکل بر حسب میلی‌گرم در لیتر در هر مخزن است. درصد جذب از معادله ۲ قابل محاسبه است

$$\text{درصد جذب} = \frac{\text{غلظت ثانویه} - \text{غلظت اولیه}}{\text{غلظت اولیه}} \times 100 \quad (2)$$

در این معادله با داشتن غلظت اولیه و ثانویه یون در محلول آبی پس از جذب، درصد جذب تعیین می‌شود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر پارامترها بر روی جذب

در شکل‌های ۱ تا ۳ میزان تأثیر هر پارامتر بر جذب یون نیکل توسط گیاه نخل مرداب و در شکل‌های ۴ تا ۶، توسط گیاه نیلوفر آبی قابل مشاهده است. همچنین مقدار نیکل جدا شده در واحد حجم در واحد زمان در شکل ۷ قابل مشاهده است.

باتوجه به نتایج نرم‌افزار Minitab، مقدار p-value و رتبه‌بندی^۱ در جدول ۱ قابل مشاهده است. مقدار p-value مقداری بین ۰ تا ۰/۰۵ است که میزان تأثیر هر پارامتر بر روی درصد جذب را تعیین می‌کند. هرچه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد، تأثیر آن پارامتر در آزمایش بیشتر است و اگر از ۰/۰۵ بیشتر باشد، آن عدد قابل اطمینان نیست و اثر آن پارامتر حذف می‌شود. همچنین رتبه‌بندی، میزان اثر هر پارامتر بر روی آزمایش است.

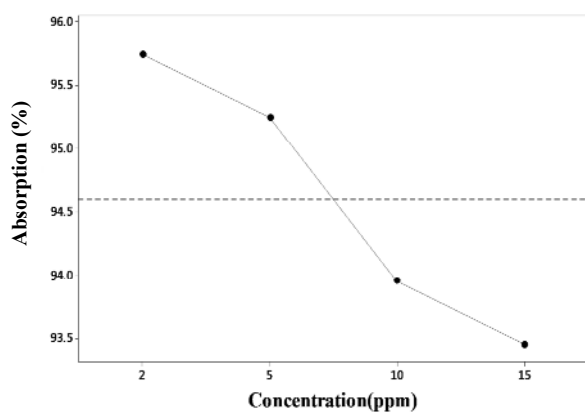


Fig. 1. Effect of concentration parameter on absorption rate by cyperus alternifolius plant

شکل ۱- تأثیر پارامتر غلظت بر درصد جذب توسط گیاه نخل مرداب

¹ Rank

یک به‌وسیله هیتر آکواریومی با قابلیت تنظیم حرارتی تنظیم شد. بر اساس طراحی آزمایش، میزان نیکل موجود در نمونه‌ها در بازه‌های زمانی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز، اندازه‌گیری شد. دلیل انتخاب حداکثر بازه زمانی ۲۰ روز، آن است که پس از انجام غربالگری اولیه مشخص شد، در زمان بیشتر از ۲۰ روز، میزان جذب ناچیز است (Mishra and Tripathi, 2009). غلظت اولیه یون نیکل در هر مخزن برابر ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ ppm بود. برای هر آزمایش از یک بوته گیاه استفاده شد تا تجمع یون نیکل باعث ایجاد خطا در آزمایش‌های بعدی نشود. برای اندازه‌گیری مقدار جذب نیکل توسط نمونه‌ها، از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی (مدل-GBC 932aa ساخت استرالیا) استفاده شد. میزان جذب نمونه‌ها در روزهای مختلف اندازه‌گیری و نتایج ثبت شد. به‌دلیل تعرق بسیار کم گیاه و تبخیر سطحی کم حوضچه‌ها، از اثر این فاکتورها در محاسبات چشم‌پوشی شد.

پس از انجام آزمایش، هر گیاه توسط آب بدون یون دوبار شستشو داده شد و سپس اندام گیاه متشکل از ریشه، ساقه و برگ جدا و در آن در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. پس از خشک شدن، نمونه‌ها در هاون خرد و ۰/۵ گرم از هر نمونه با ۶ میلی‌لیتر اسید نیتریک و ۲ میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ مخلوط شد و به مدت ۴ ساعت در اتوکلاو با دمای ۱۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شد. این کار باعث تجزیه شدن نیترات و کربنات و تبدیل آنها به نیتروژن و کربن می‌شود. سپس ۳ میلی‌لیتر اسید پرکلریک به هر نمونه اضافه شد و به مدت ۲ ساعت در اتوکلاو با دمای ۱۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. این کار باعث تجزیه شدن مواد آلی به مواد سازنده آن در نمونه‌ها می‌شود. نمونه حاصل در دستگاه اسپکترومتر جذب اتمی قرار گرفت و مقدار یون در اندام‌های مختلف گیاه (ریشه، برگ و ساقه) تعیین شد.

طراحی آزمایش در این پژوهش به روش تاگوچی L16 و به کمک نرم‌افزار Minitab انجام شد. برای هر گیاه، مقدار درصد جذب در شرایط متفاوت طراحی و مقدار نیکی که در واحد حجم و در واحد زمان از آب جدا شده بود، بر حسب میلی‌گرم در روز در لیتر محاسبه شد. در معادله ۱ نحوه محاسبه M آورده شده است

$$M = \frac{(C_i - C_0) \times 1(L)}{(3L)(\text{زمان اندازه‌گیری بر حسب روز})} \quad (1)$$

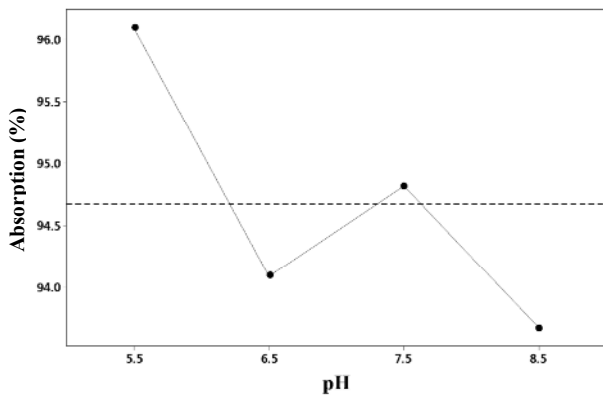


Fig. 5. Effect of pH parameter on absorption rate by Egyptian lotus plant

شکل ۵- تأثیر پارامتر pH بر درصد جذب توسط گیاه نیلوفر آبی

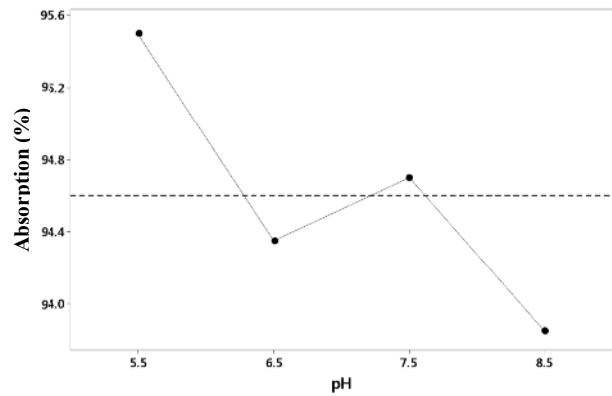


Fig. 2. Effect of pH parameter on absorption rate by cyperus alternifolius plant

شکل ۲- تأثیر پارامتر pH بر درصد جذب توسط گیاه نخل مرداب

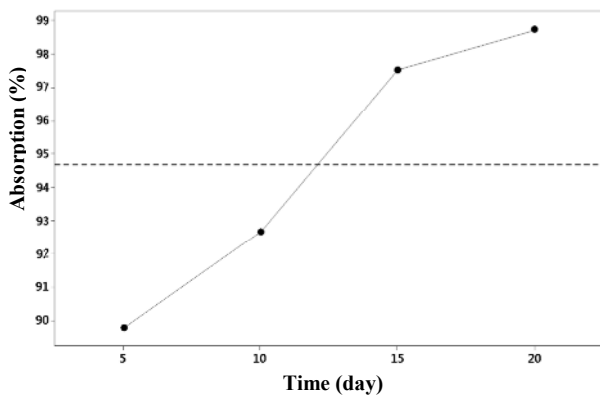


Fig. 6. Effect of sampling time parameter on absorption rate by Egyptian lotus plant

شکل ۶- تأثیر پارامتر زمان نمونه‌گیری بر درصد جذب توسط گیاه نیلوفر آبی

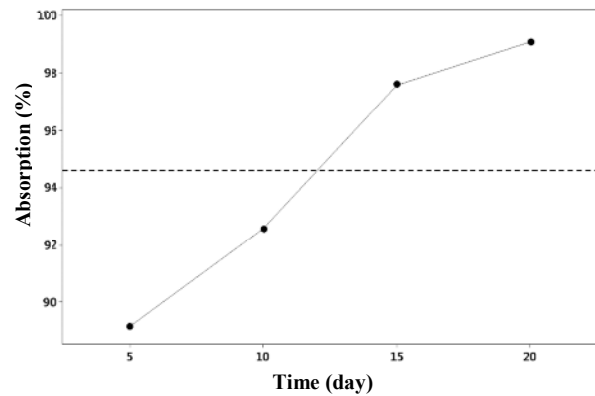


Fig. 3. Effect of sampling time parameter on absorption rate by cyperus alternifolius plant

شکل ۳- تأثیر پارامتر زمان نمونه‌گیری بر درصد جذب توسط گیاه نخل مرداب

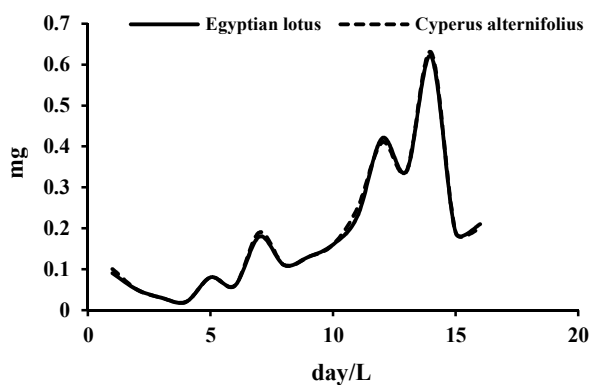


Fig. 7. Nickel isolated in unit volume per unit time

شکل ۷- مقدار نیکل جدا شده در واحد حجم در واحد زمان

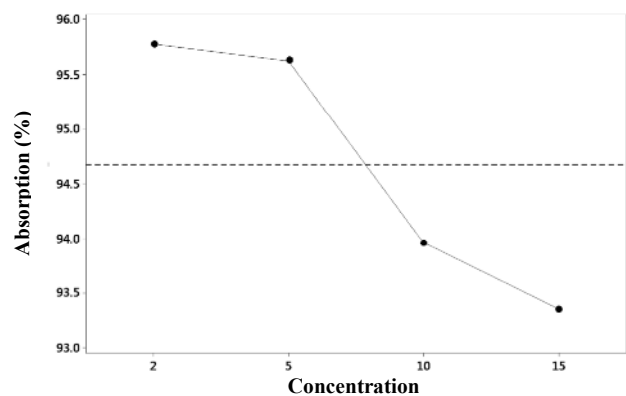


Fig. 4. Effect of concentration parameter on absorption rate by Egyptian lotus plant

شکل ۴- تأثیر پارامتر غلظت بر درصد جذب توسط گیاه نیلوفر آبی

جدول ۱- میزان p-value و Rank برای هر دو آزمایش گیاه نخل مرداب و نیلوفر آبی
Table 1. The p-value and rank values for *Cyperus alternifolius* and Egyptian lotus

Parameter	Ion absorption by the <i>Cyperus alternifolius</i>		Ion absorption by the Egyptian lotus	
	Rank	p-Value	Rank	p-Value
Concentration (mg/L)	2	0.015	2	0
pH	3	0.136	3	0.984
Time (day)	1	0	1	0

جدول ۲- نتایج حذف یون نیکل توسط گیاه نخل مرداب و نیلوفر آبی با توجه به آزمایش‌ها
Table 2. Results of removal of ion-nickel by *Cyperus alternifolius* and Egyptian lotus according to experiments

Plant	Temperature (°C)	pH	Separation of ion content in plant organs			Absorption (%)	Initial concentration (ppm)	Secondary initial concentration	Time (Day)
			Leaf	Trunk	Root				
<i>Cyperus alternifolius</i>	25	5.5	5.3	14.8	79.9	99.5	2	0.01	20
Egyptian lotus	25	6.5	4.71	8.9	86.39	99.5	2	0.01	20

فلزی جذب شده بر گرم جاذب، C_{eq} غلظت تعادلی یون فلزی بر حسب میلی‌گرم در لیتر در فاز مایع و b ثابت لانگمیر است (Langmuir, 1918).

معادله جذب فروندلیچ یکی دیگر از ایزوترم‌های جذب است که در این پژوهش بررسی شد. فرم خطی معادله فروندلیچ به صورت زیر است

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4)$$

ثابت‌های همدمای فروندلیچ شامل K_f ظرفیت جذب بر حسب میلی‌گرم بر گرم و n شدت جذب است (Freundlich and Hatfield, 1926)

پارامترهای به دست آمده از جذب همدمای لانگمیر (شکل ۸) و فروندلیچ (شکل ۹) برای جذب نیکل توسط گیاه نخل مرداب و نیلوفر آبی در جدول ۳ آورده شده است. حداکثر میزان جذب یون نیکل (q_{max}) توسط هر دو گیاه نخل مرداب و نیلوفر آبی قابل مشاهده است.

با توجه به جدول ۱، میزان تأثیر پارامترها برای هر دو گیاه نخل مرداب و نیلوفر آبی به صورت زیر است
 $pH > \text{غلظت} > \text{زمان نمونه‌گیری}$

در جدول ۲ بهترین نتایج برای حذف نیکل توسط گیاه نخل مرداب و نیلوفر آبی و همچنین میزان جذب در اندام گیاه نشان داده شده است.

۲-۳- همدمای جذب

در این پژوهش مدل‌های جذب همدمای لانگمیر و فروندلیچ بررسی شد. معادله خطی لانگمیر به صورت زیر است

$$\frac{C_{eq}}{q_{eq}} = \frac{1}{b q_{max}} + \frac{C_{eq}}{q_{max}} \quad (3)$$

که در این معادله q_{eq} و q_{max} به ترتیب غلظت یون فلزی در جامد در حالت تعادل و بیشترین مقدار ممکن غلظت یون فلزی بر حسب میلی‌گرم یون

جدول ۳- نتایج جذب همدما

Table 3. Isotherm absorption results

Plant	Langmuir			Freundlich		
	R ²	b	q _{max}	R ²	n	q _{max}
Cyperus alternifolius	0.989	1.735	73.529	0.995	1.178	108.147
Egyptian lotus	0.998	0.083	454.545	0.997	1.037	166.404

نیکل است. بیشترین و کمترین میزان جذب، به ترتیب در غلظت‌های ۲ و ۱۵ppm مشاهده شد.

تغییرات pH نیز بر روی جذب یون نیکل توسط هر دو گیاه نخل مرداب و نیلوفر آبی مؤثر است. در pH برابر ۸/۵، کمترین میزان جذب یون نیکل برای هر دو گیاه نخل مرداب و نیلوفر آبی مشاهده شد. برای گیاه نخل مرداب در محیط اسیدی و pH برابر ۵/۵، بیشترین جذب یون نیکل و برای گیاه نیلوفر آبی نیز در pH برابر ۶/۵، بیشترین میزان جذب یون نیکل مشاهده شد. همچنین با افزایش زمان نمونه‌گیری، میزان جذب یون نیکل توسط هر دو گیاه نخل مرداب و نیلوفر آبی افزایش یافت.

نتایج نشان داد که میزان خطای متوسط برای آزمایش جذب یون نیکل توسط گیاه نیلوفر آبی ۱/۲۶ و گیاه نخل مرداب ۰/۹۹ درصد است. ضریب تعیین (R²) نیز برای آزمایش گیاه نخل مرداب برابر ۰/۹۲۳۸ و برای گیاه نیلوفر آبی برابر ۰/۹۶۴۸ به دست آمد که نشان‌دهنده صحت آزمایش و قابل اطمینان بودن نتایج است. همچنین با توجه به همدمای جذب، مشخص شد که جذب یون نیکل برای گیاه نخل مرداب توسط همدمای جذب فروندلیچ و برای نیلوفر آبی توسط همدمای لانگمیر توصیف می‌شود. بیشترین میزان تجمع یون برای هر دو گیاه در ریشه آن مشاهده شد که برای نخل مرداب ۷۹/۹ و برای نیلوفر آبی ۸۶/۳۹ درصد بود.

۵- قدردانی

نویسندگان مقاله از مدیریت دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز به دلیل حمایت مالی در راستای انجام این پژوهش قدردانی می‌نمایند.

References

Ahmadi Asbchin, S. & Jafari, N. 2013. Biosorption of nickel (II) from aqueous solution by Pseudomonas sp. *Journal of Applied Biology*, 25(2), 1-12. (In Persian)

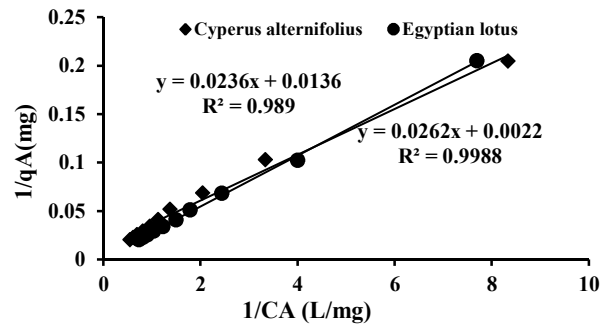


Fig. 8. Langmuir isotherm of Cyperus alternifolius and Egyptian lotus

شکل ۸- همدمای لانگمیر گیاه نخل مرداب و نیلوفر آبی

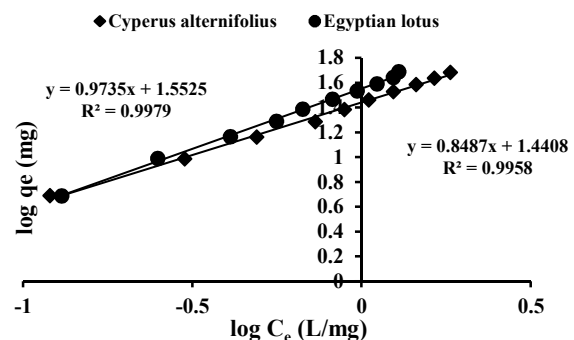


Fig. 9. Freundlich isotherm of Cyperus alternifolius and Egyptian lotus

شکل ۹- همدمای فروندلیچ گیاه نخل مرداب و نیلوفر آبی

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، با افزایش غلظت یون نیکل در پساب، میزان جذب توسط هر دو گیاه نخل مرداب و نیلوفر آبی کاهش می‌یابد که این به دلیل ظرفیت محدود گیاه در جذب یون

- Alvarado, S., Guedez, M., Lue-Merú, M. P., Nelson, G., Alvaro, A., Jesús, A. C. et al. 2008. Arsenic removal from waters by bioremediation with the aquatic plants water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Lesser Duckweed (*Lemna minor*). *Bioresource Technology*, 99, 8436-8440.
- Dehghani Firouzabadi, O., Zareei Mahmoodabadi, H. & Ehrampoush, M. H. 2017. Investigating the reuse of wastewater from industrial settlements for agricultural and irrigation purposes (Case study: Jahan Abad Meybod industrial estate refinery). *Tolooebehdasht Journal*, 16(3), 46-55. (In Persian)
- Fallahi, F., Ayati, B. & Ganjidoust, H. 2011. Lab scale study of nitrate removal by phytoremediation. *Journal of Water and Wastewater*, 23(1), 57-65. (In Persian)
- Flathman, P. E. & Lanza, G. R. 1998. Phytoremediation: current views on an emerging green technology. *Journal of Soil Contamination*, 7, 415-432.
- Freundlich, H. & Hatfield, H. S. 1926. *Colloid and capillary chemistry*, Methuen and Co. Ltd., London.
- Gholi Kandi, B., Valipour, A. Farshbaf Haghro, M. & Alibeigi, M. R. 2012. Urban and industrial wastewater treatment using natural systems: an investigation into the application of the egyptian lotus. *5th Environmental Engineering Conference*, University of Tehren, Tehran, Iran. (In Persian)
- Gupta, A. & Balomajumder, C. 2015. Removal of Cr (VI) and phenol using water hyacinth from single and binary solution in the artificial photosynthesis chamber. *Journal of Water Process Engineering*, 7, 74-82.
- Hasan, S., Talat, M. & Rai, S. 2007. Sorption of cadmium and zinc from aqueous solutions by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Bioresource Technology*, 98, 918-928.
- Langmuir, I. 1918. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society*, 40, 1361-1403.
- Mishra, V. K. & Tripathi, B. 2009. Accumulation of chromium and zinc from aqueous solutions using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Journal of Hazardous Materials*, 164, 1059-1063.
- Moosavi, S. G. & Seghatoleslami, M. J. 2013. Phytoremediation: a review. *Advance in Agriculture and Biology*, 1, 5-11.
- Naghypour, D., Ashrafi, S. D., Gholamzadeh, M., Taghavi, K. & Naimi-Joubani, M. 2018. Phytoremediation of heavy metals (Ni, Cd, Pb) by *Azolla filiculoides* from aqueous solution: a dataset. *Data in Brief*, 21, 1409-1414.
- Sa'ad, N. S., Artanti, R. & Dewi, T. 2009. Phytoremediation for rehabilitation of agricultural land contaminated by cadmium and copper. *Journal Tanah Iklim*, 30, 59-66.
- Smialowicz, R. J., Rogers, R. R., Riddle, M. M. & Stott, G. A. 1984. Immunologic effects of nickel: I. Suppression of cellular and humoral immunity. *Environmental Research*, 33, 413-427.
- Zheng, J.-C., Feng, H.-M., Lam, M. H.-W., Lam, P. K.-S., Ding, Y.-W. & Yu, H.-Q. 2009. Removal of Cu(II) in aqueous media by biosorption using water hyacinth roots as a biosorbent material. *Journal of Hazardous Materials*, 171, 780-785.