بررسی تأثیر تغییرات اندازهٔ ذرات جاذب کربن فعال بر زمان تعادل و بازدهٔ جذب یون نیکل از محلول آبی

فاطمه طالبی خلیل محله*، رضا مرندی؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

چکیده

آلودگی محیطزیست به فلزات سمی و خطرناك از مهمترین مسائل دنیای امروز است. نیکل یکی از این فلزات سمی است که غلظت زیاد آن در صورت ورود به بدن انسان باعث حساسیت پوستی، بیماری‌های قلبی، انواع سرطان و غیره می‌شود، بنا بر این حذف نیکل از پساب‌های صنعتی ضروری است. هدف از این تحقیق حذف یون نیکل از محلول آبی با کربن فعال سنتز شده از تفالهٔ هویج و بررسی تأثیر تغییر اندازهٔ ذرات جاذب بر زمان تعادل و بازدهٔ جذب یون نیکل بود. برای این منظور از تکنیک جذب سطحی در سیستم ناپیوسته استفاده شد و در ابتدا کربن فعال از تفالهٔ هویج تهیه و اندازهٔ ذرات آن بین ۳۰۰- ۳۷ میکرومتر انتخاب شد. نتایج نشان داد که حداکثر بازدهٔ جذب در pH=۶ و برابر ۱۰۰% است. همچنین نشان داده شد که با کاهش اندازهٔ جاذب از ۳۰۰ تا ۳۷ میکرومتر، زمان تعادل جذب کاهش یافته و از ۱۳۰ به ۲۰ دقیقه رسید. نتایج حاصل از بررسی مدل‌های سینتیکی نشان داد که روند حذف یون نیکل از مدل سینتیکی شبه درجهٔ دوم پیروی می‌کند. رابطهٔ ایزوترم‌های لانگمیر و فروندلیچ به‌منظور تطابق ایزوترم‌های جذب، بررسی شد. این پژوهش به‌خوبی نشان داد که کربن فعال جاذبی با ظرفیت جذب زیاد برای یون نیکل است.

مقدمه

فلزات سنگین به‌وسیله فعالیت‌های صنعتی و توسعهٔ فن‌آوری بیش‌تر از میزان طبیعی در محیطزیست منتشر شده‌اند. این فلزات به‌دلیل سمی بودن، اثرات نابه‌هنجاری بر محیطزیست و سلامتی موجودات به‌ویژه انسان‌ها دارند. هم‌چنین تجمع این فلزات در زنجیرهٔ غذایی و ثبات آن‌ها در طبیعت از نظر اقتصادی نیز موجودات را تهدید می‌کند [۱]. این فلزات از طریق فعالیت‌های صنایعی مثل: آب‌کاری، ذوب و تصفیه فلزات، معادن، نیروگاه‌ها، صنایع نساجی، باطری سازی، سرامیک و شیشه وارد محیط زیست می‌شوند. بنا بر این توسعه روش‌هایی که بتواند فلزات سنگین را از محیط زیست حذف کند بسیار مهم است. روش‌های بسیاری برای حذف فلزات سنگین وجود دارد. ترسیب شیمیایی، استفاده از روش‌های غشایی، اسمز معکوس، شناورسازی و تصفیه الکتروشیمیایی روش‌هایی هستند که برای حذف فلزات سنگین به‌کارگرفته شده‌اند. این روش‌ها به‌دلیل هزینه فراوان، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیستند و در مقیاس صنعتی هزینه‌بردارند [۲].

واژه‌های کلیدی: کربن فعال، نیکل، اندازهٔ ذرات، مدل‌های سینتیکی، ایزوترم جذب
دریافت ۹۲/۸/۱٦ پذیرش ۹۳/٦/۱۷
***نویسنده مسئول** fatemeh.talebi89@yahoo.com

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

جذب سطحی روشی مفید و کم هزینه برای تصفیه آلودگی فلزات سنگین است. جذب سطحی یک فرایند انتقال جرم ماده از فاز مایع به سطح جامد است. این سطح باید متخلخل و دارای سطح ویژهٔ زیادی باشد. کربن فعال مشهورترین جاذب برای فرایند جذب سطحی است و در فرایندهای نهایی تصفیه فاضلاب استفاده می‌شود [۳]. بخشی زیادی از کربن فعال از مواد خام متفاوت به‌عنوان مثال پوست نارگیل، پوست برنج، پوست بادام و... تولید می‌شود. مواد آلی مختلف گیاهی، سنتزی و طبیعی که درصد زیاد کربن دارند، به‌ویژه ضایعات سلولزی مانند لیگنین در پساب صنایع کاغذسازی و خاك اره، به‌عنوان مواد اولیه برای تهیهٔ کربن فعال قابل استفاده هستند. مواد معدنی که اساس ساختمان آن‌ها از کربن باشد مانند انواع ذغال سنگ‌ها و لیگنیت نیز به‌عنوان مواد اولیه مناسب برای تهیهٔ کربن فعال به‌شمار می‌روند [۴]، [۵]. کربن فعال به‌دلیل داشتن سطح تماس زیاد به‌طور مؤثری می‌تواند انواع آلاینده‌های شیمیایی مانند مواد رنگـزا و فلزات سنگین را از فازهای گاز یا مایع از طریق جذب سطحی حذف کند بنا بر این به‌عنوان متداول‌ترین جاذب برای عملیات تصفیهٔ آب و پساب استفا ده شده است [۶]، [۷].

در این تحقیق حذف یون نیکل از محلول آبی با کربن فعال تهیه شده از تفالهٔ هویج تحت تأثیر عوامل متعدد بررسی شده و از تکنیک جذب سطحی در سیستم ناپیوسته استفاده شده و تأثیر تغییرات اندازه ذرات جاذب کربن فعال بر زمان تعادل و بازدهٔ جذب یون نیکل از محلول آبی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

۱. تهیهٔ کربن فعال از تفالهٔ هویج

برای تهیهٔ کربن فعال، ابتدا تفالهٔ هویج تهیه شد. سپس با آب مقطر شستشو داده شد و در داخل آون با دمای ۸۰°c قرار گرفت تا خشک شود سپس ۱۰۰ گرم تفالهٔ هویج خشک (۱ قسمت) با ۲۸۶/۶۶ گرم (۲/۸۶ قسمت) اسید سولفوریک غلیظ و۱۵/۹۲ (۰/۱۵۹۲ قسمت) آمونیم پرسولفات مخلوط شد. مخلوط به‌مدت ۱۵ ساعت در آون با دمای ۸۰°c گذاشته شد تا کربونیزه شود کربن فعال تهیه شده با آب مقطر چندین بار شستشو داده شد، سپس سدیم بیکربنات ۱% به‌قدری اضافه شد تا اسید از منافذ کربن فعال خارج شود. کربن فعال با آب مقطر چندین بار شستشو داده شد تا سدیم بیکربنات از محیط خارج شده و کربن فعال از حالت قلیایی به حالت خنثی برسد. بعد از آن کربن فعال به‌مدت ۵ ساعت در آون با دمای ۸۰°c خشک شد تا در نهایت کربن فعال به‌مقدار ۸۹ گرم به‌دست آمد، که این نشان می‌دهد ۸۹% از تفالهٔ هویج خشک می‌تواند تبدیل به کربن فعال شود. سپس کربن فعال تهیه شده با استفاده از هاون آسیاب و به‌دنبال آن از الک با چشمه‌های مختلف عبور داده شد و بعد از آن به‌منظور جلوگیری از جذب رطوبت در بطری‌های شیشه ای در بسته نگه‌داری شد [۸].

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

۲. تهیه محلول فلزی

محلول فلزی پایه برای Ni (II) به‌صورت ۱۰۰۰ppm بدین‌صورت تهیه شد: ۵/۰۰۴۸ گرم نمک نیترات نیکل (شش آبه) در۱۰۰۰ cc آب مقطر حل شد. از محلول فوق برای تهیهٔ محول‌های استاندارد با غلظت ppm (۱۰،۲۰،۳۰،۴۰،۵۰،۱۰۰) استفاده شد.

۳. آزمایش‌های ناپیوسته

آزمایش‌های ناپیوسته برای تعیین pH، زمان تعادل و بازده جذب نیکل در اندازه‌های مختلف انجام گرفت. همچنین تعیین مشخصه‌های مدل‌های سینتیك جذب یون نیکل در این پژوهش بررسی شد. برای انجام آزمایش‌ها ۱۰۰ cc محلول ۱۰ppm در یک ارلن ۲۵۰ml آماده شد و مقدار ۰/۱ گرم کربن فعال به آن اضافه و در دمای محیط روی شیکر با دور ۱۵۰ rpm گذاشته شد. بعد از عمل اختلاط و جذب مخلوط از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد و برای تعیین مقدار فلز جذب شده از دستگاه جذب اتمی مدل AA۲۴۰ استفاده شد.

۱،۳. تعیین pH بهینه

۱۰عدد ارلن ۲۵۰ml حاوی ۱۰۰ml محلول ۱۰ppm از فلز نیکل به‌طور جداگانه تهیه و pHها از رنج ۲ تا ۱۱ تنظیم شد و ارلن‌ها را در شرایط (۰/۱ گرم کربن فعال، دمای محیط، دور شیکر ۱۵۰rpmو زمان ۶۰ دقیقه) به‌ترتیب بر روی شیکر گذاشته شدند و بعد از سپری شدن مدت زمان۶۰ دقیقه نمونه‌ها به‌ترتیب از روی شیکر بر داشته شدند. برای تنظیم pH از نیتریک اسید و سدیم‌هیدروکسید ۰/۱ نرمال استفاده شد. اندازه‌گیری pH با دستگاه pH متر مدل GP۳۵۲ انجام گرفت.

۲،۳. تأثیر تغییرات اندازه جاذب بر زمان تعادل

برای این بررسی ۱۳ عدد ارلن ۲۵۰ml حاوی ۱۰۰ml محلول ۱۰ppm از فلز تهیه شد و برای انجام عملیات جذب، در شرایط (pH بهینه، مقدار ۰/۱گرم کربن فعال، دمای محیط و دور شیکر ۱۵۰rpm) بر روی شیکر گذاشته شدند. رنج تغییرات زمان برای ارلن‌ها به‌ترتیب از ۰ تا ۱۴۰ دقیقه در نظر گرفته شد. بعد از سپر شدن زمان‌های مختلف محلول‌ها از روی شیکر برداشته شدند و از صافی واتمن ۴۲ گذرانده شد و غلظت نیکل باقی‌مانده در محلول اندازه‌گیری شد. این کار برای اندازهٔ ۳۷، ۱۵۰، ۱۸۰،۱۰۶و ۳۰۰ میکرومتر انجام شد.

۳،۳. مدل‌های سینتیك جذب

مدل‌های ریاضی متعددی برای بررسی و توصیف سینتیک واکنش جذب صورت می‌گیرد که در این تحقیق مدل‌های جذب سینتیک شامل درجهٔ اول کاذب[۱]، درجه دوم[۲]، الوویچ۳ و پخش بین ذره‌ای[۴] به همراه مشخصه‌های آن‌ها در جداول ۱ و ۲معرفی شده‌اند [۹]، [۱۰]. در این تحقیق، برای ارزیابی مدل‌ها از ضریب همبستگی استفاده شد.

۱. Psudo-First Order Model ۲. Psudo-Second Order Model ۳. Elovich
۴. Intraparticle Diffusion Model

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

جدول۱. مدل‌های سینتیک جذب

نوع سنتیک	معادله	فرم خطی
درجه اول کاذب		
درجه دوم		
ایلوویچ	$\frac{dq_t}{dt} = \alpha \exp(-\beta q_t)$	
پخش بین ذره‌ای	–	

جدول۲. مشخصه‌های مدل‌های سینتیک جذب

مشخصه	معرفی مشخصه
q_e	مقدار ماده جذب شده در حالت تعادل $(\frac{mg}{g})$
q_t	مقدار ماده جذب شده در زمان t $(\frac{mg}{g})$
K_1	ثابت سرعت جذب در سینتیک درجهٔ اول $(\frac{1}{min})$
K_2	ثابت سرعت جذب در سینتیک درجهٔ دوم $(\frac{g}{mg.min})$
β	ثابت سرعت جذب معادلهٔ الوویچ $(\frac{g}{mg})$
α	سرعت اولیه جذب معادلهٔ الوویچ $(\frac{mg}{g.h})$
k_{id}	ثابت سرعت نفوذ درون مولکولی

۴،۳ . بررسی ایزوترم‌های جذب

هدف از انجام این آزمایش‌های این قسمت، تعیین ایزوترمی است که عمل جذب از آن پیروی می‌کند. برای تحلیل نتایج جذب و بررسی ایزوترم‌های جذب ۲ مدل لانگمیر۱، فروندلیچ ۲ بررسی شدند، روابط خطی و اصلی آن‌ها به‌همراه مشخصه‌های آن‌ها در جدول‌های۳ و۴ معرفی شده‌اند.

جدول۳. ایزوترم جذب

نوع ایزوترم	معادله	فرم خطی
فروندلیچ		
لانگمیر		

۱. Langmuir ۲. Freundlich

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

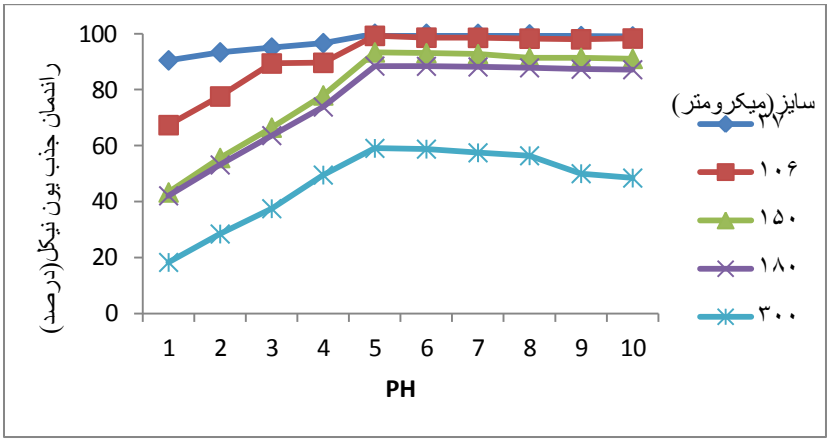
جدول۴. مشخصه‌های مدل‌های ایزوترم

مشخصه	معرفی مشخصه
	مقدار مادهٔ جذب شده در حالت تعادل ($\frac{mg}{g}$)
	شیب خط
$\overline{b}$	عرض از مبدا
	ثابت فروندلیچ
n	ثابت فروندلیچ
b	ثابت لانگمیر

نتایج و بحث

۱ . تعیین pH بهینه

آزمایش نشان می‌دهد بهترین pH که حداکثر جذب در آن دیده می‌شود برای فلز Ni(II)، ۶ محاسبه شده است که حداکثر بازدهٔ جذب، در این pH به‌ترتیب برای اندازهٔ ۳۷ میکرومتر (۱۰۰%)، ۱۰۶ میکرومتر (۹۹/۲۶%)، ۱۵۰میکرومتر (۹۳/۳۵%)، ۱۸۰ میکرومتر (۸۸/۴۴%) و ۳۰۰ میکرومتر (۵۹/۰۵%) برابر برای فلز Ni(II) به‌دست آمده است. چنان‌که در شکل ۱ مشاهده می‌کنید، شدت جذب یون نیکل از pH=۲ تا pH=۶ برای اندازهٔ ۱۵۰، ۱۸۰ و ۳۰۰ میکرومتر با شیب بیش‌تری نسبت به‌اندازهٔ ۳۷ و ۱۰۶ میکرومتر افزایش می‌یابد و از pH=۶ تا pH =۱۱ از شدت جذب به مقدار جزئی کاهش می‌یابد. در pH پایین یون H^+ با یون فلزی رقابت می‌کند و مکان‌های جاذب توسط H^+ اشغال و یون‌های فلزی به‌دلیل نیروی دافعه، کم‌تر به جاذب نزدیک می‌شوند. در pH بیش‌تر، سطح جاذب بار منفی بیش‌تری می‌گیرد و میزان جذب یون فلزی افزایش می‌یابد. با افزایش pH، ابتدا افزایش سپس کاهش راندمان جذب ملاحظه شد. به‌این دلیل که با افزایش PH کمپلکس‌های هیدروکسید تشکیل می‌شوند که بیش‌تر آن‌ها نامحلول است و رسوب می‌کنند [۱۱]، [۱۲]، [۱۳].

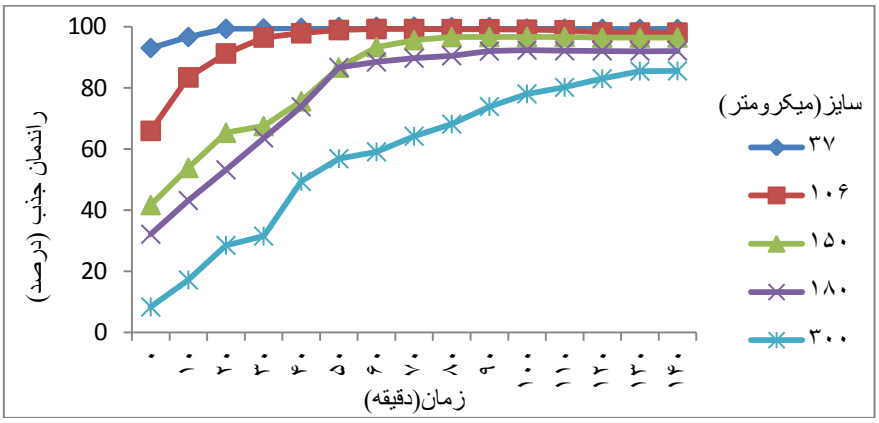


شکل۱. تأثیر pH بر بازدهٔ جذب یون نیکل با جاذب کربن فعال در ۵ اندازهٔ متفاوت (دمای محیط، دور شیکر ۱۵۰rpm، غلظت ppm ۱۰، ۰/۱ گرم کربن فعال، زمان ۶۰ دقیقه)

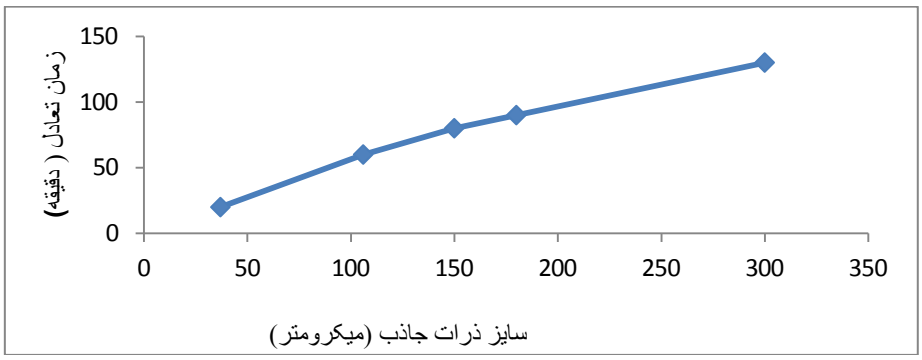
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

۲. تأثیر تغییرات اندازه ذرات جاذب بر زمان تعادل

کل زمان مورد نظر در این قسمت ۱۴۰ دقیقه در نظر گرفته شد که بررسی‌ها و نتایج به‌دست آمده از آزمایش در مورد فلز Ni(II) چنان‌که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، نشان می‌دهد که برای یک اندازهٔ ثابت میزان جذب با گذشت زمان افزایش چشمگیری داشته و به‌طوری‌که بعد از مدتی، میزان جذب به حداکثر خود رسیده و تقریبا ثابت می‌ماند و با گذشت زمان تغییر چشمگیری ندارد. در شکل ۲ سیر صعودی جذب در زمان‌های نخست، به‌وفور مکان‌های جذب در سطح کربن مربوط می‌شود. ولی به‌تدریج و با گذشت زمان و به‌دلیل کاهش تعداد مکان‌های فعال و افزایش رقابت، برای اشغال مکان‌ها با فلزات، روند صعودی، کند و نهایتاً به مقداری ثابت سوق می‌یابد و این امر به‌میزان پذیرش فلزی خاص به‌وسیلهٔ مکان‌های موجود در کربن بستگی دارد [۱۴]، [۱۵]، [۱۶]. بنا بر این با افزایش اندازهٔ ذرات جاذب از ۳۷ تا ۳۰۰ میکرومتر، به‌ترتیب حداکثر بازدهٔ جذب از ۱۰۰% تا ۸۵/۵۵% کاهش می‌یابد. همچنین شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش اندازهٔ ذرات جاذب، زمان تعادل جذب افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که به‌ازای اندازه‌های ۳۷، ۱۰۶، ۱۵۰، ۱۸۰ و ۳۰۰ میکرومتر زمان تعادل به‌ترتیب معادل ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۹۰، ۱۳۰ دقیقه به‌دست آمد.



شکل۲. تعیین زمان تعادل جذب یون نیکل در اندازه‌های مختلف ذرات کربن فعال (دمای محیط، دور شیکر ۱۵۰ rpm، غلظت ۱۰ ppm، ۱/۰ گرم کربن فعال، pH=۶)



شکل۳. تأثیر اندازهٔ ذرات جاذب کربن فعال بر زمان تعادل جذب یون نیکل (دمای محیط، دور شیکر ۱۵۰ rpm، غلظت ۱۰ppm، ۱/۰ گرم کربن فعال، pH=۶)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

۳,۳ مدل‌های جذب سینتیک

بررسی نتایج در این تحقیق نمایانگر تطابق بسیار زیاد داده‌ها در سینتیک درجهٔ دوم بود. در حالی‌که با مدل‌های سینتیک درجهٔ اول و الوویچ و پخش درون ذره‌ای تطابق زیادی ندارد. داده‌ها در جدول ۵ آورده شده است. q_e تئوری و تجربی در سینتیک درجهٔ دوم به‌هم نزدیک می‌شود. همچنین ضریب همبستگی حاصل از نمودار سینتیک درجهٔ دوم، ۱ است. بنا بر این همه شواهد گواه بر این است که سینتیک جذب یون نیکل با کربن فعال از مدل شبه درجهٔ دوم پیروی می‌کند.

جدول۵. مقادیر پارامترهای مدل‌های سینتیک جذب

مدل	ضرایب مدل	مقادیر ضرایب
درجه اول کاذب	q_e	۳۷/۴۵
	K_1	۰/۰۰۴۲۴
	R^2	۰/۹۸۹۶
درجه دوم	q_e	۱۰/۳
	K_2	۰/۰۹۳
	R^2	۱
الوویچ	α	۹۷۴۴۸۰۳۴۴۶
	β	۲/۸۱
	R^2	۰/۹۸۰۸
پخش درون ذره ای	k_{id}	۰/۱۲۸۱
	R^2	۰/۹۴۸۷

۴. ایزوترم‌های جذب سطحی

مدل‌های فروندلیچ و لانگمیر با داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها همخوانی دارد و محاسبات ریاضی نشان می‌دهد جذب از هر دو مدل تبعیت می‌کند.

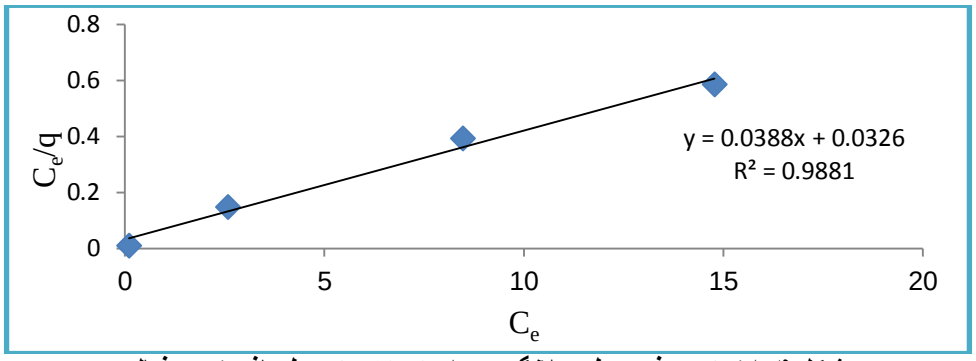
۱,۴. مدل لانگمیر

در شکل ۴ ایزوترم جذب سطحی لانگمیر برای فلز نیکل نشان می‌دهد. داده‌ها در جدول ۶ آورده شده است.

جدول۶. ثابت‌های لانگمیر و ضرایب خطی آن

جاذب	q_{max}	b	R_2
کربن فعال	۲۵/۷۳	۱/۱۹	۰/۹۸۸۱

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]



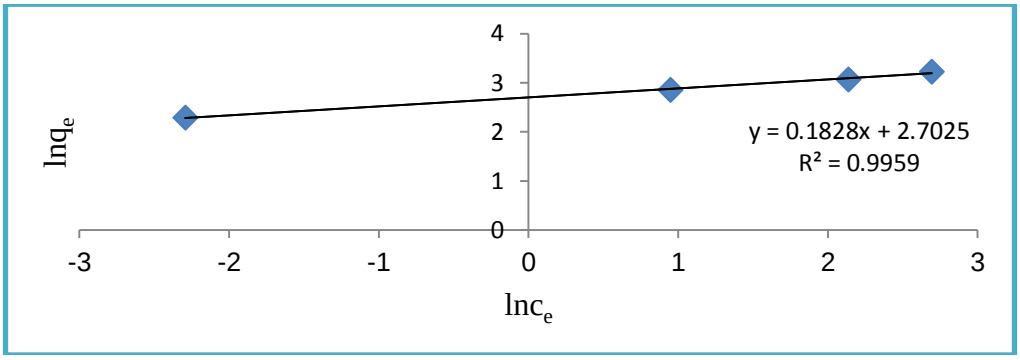
شکل ۴: ایزوترم جذب سطحی لانگمیر برای(Ni(II توسط جاذب کربن فعال

۲,۴ مدل فروندلیچ

در شکل ۵ ایزوترم جذب سطحی فروندلیچ برای فلز نیکل نشان می‌دهد. داده ه در جدول ۷ آورده شده است.

جدول۷. ثابت‌های فروندلیچ و ضرایب خطی آن

جاذب	K_f	n	R^2
کربن فعال	۱۴/۹۱	۵/۴۷	۰/۹۹۵۹



شکل۵. ایزوترم جذب سطحی فروندلیچ برای(Ni(II توسط جاذب معمولی کربن فعال

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد جذب سطحی یک فن‌آوری مؤثر برای حذف بهینه فلزات سنگین از محلول‌های آبی است. ساده بودن عمل‌کرد سبب شده که این روش یکی از بهترین روش‌های حذف مواد سمی از طبیعت باشد. و همچنین مشاهده شد که جاذب کربن فعال تهیه شده از تفالهٔ هویج، ظرفیت جذب خوبی برای حذف یون نیکل دارد. در pH بالاتر جذب بهتر انجام می‌شود .اما بهترین pH جذب ۶ است، زیرا در pH بالاتر از ۶ فلز به‌صورت رسوب هیدروکسید از محلول خارج می‌شود. در pH پایین بین کاتیون‌های فلزی و یون هیدرونیوم در اتصال به سطح جاذب رقابت به‌وجود می‌آید و میزان جذب کاهش می‌یابد. با افزایش اندازه ذرات جاذب، زمان تعادل کاهش می‌یابد. اندازهٔ ذرات نقش مهمی روی سینتیک جذب دارد به‌دلیل این‌که تغییراتی در تعداد مکان‌های

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

جذب ایجاد می‌کند. چنان‌که در تحقیق مشاهده شد حذف یون نیکل با کاهش ابعاد ذرات افزایش می‌یابد، به‌دلیل این‌که تعداد زیادی از ذرات کوچک، عملیات جذب را با ایجاد مساحت سطح بزرگ که در دسترس یون نیکل قرار می‌دهد بهبود می‌بخشد. سرعت زیاد در جذب یکی از مزیت‌های جذب سطحی با کربن فعال است. و اثرات اندازهٔ ذرات جاذب و pH به‌شدت بر میزان جذب مؤثر است. در بررسی سینتیک جذب مشخص شد که سینتیک جذب از سینتیک شبه مرتبه دو به خوبی پیروی می‌کند. حداکثر فلز نیکل جذب شده با کربن فعال در شرایط بهینه برابر ۱۰۰% است. نتایج ایزوترم‌های فروندلیچ و لانگمیر نشان داد که ذرات کربن فعال، جاذب بسیار مناسبی برای حذف یون نیکل از محلولهای آبی و راندمان جذب زیاد است.

قدردانی

همکاری‌های آقای دکتر وحید کیارستمی عضو هیئت علمی گروه شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال و خانم طاهره حاجی حیدر کارشناس ارشد شیمی کاربردی تشکر و قدردانی می‌کنیم.

منابع

1. A saeed, M. Iqbal, "Bioremoval of cadmium from aqueous solution by black gram husk (cicerarientinum)" water Res, 37(2003) 3472-3480.
2. Z. R. Holan, B. Volesky, "Accumulation of cadmium,lead,and nickel by fungal and wood", B., biosorbents, Appl, Biochem, Biotechn vol.53 (1995) 133-146.
۳. ح. عیسی‌زاده، ع. مهدوی، ا. چرسی‌زاده، *تأثیر کربن فعال بر روی کیفیت آب شرب بندرعباس*، اولین کنگرهٔ ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف (۱۳۸۳).
4. X. N.-y. Huang, Gao, et al., "Thermodynamics and kinetics of Cadmium adsorption onto oxidized granular activated carbon", Environmental Sciences 19 (2007) 1287-1292.
5. E. E. Shafey, M. Cox, et al., "Application of a carbon sorbent for the removal Of cadmium and other heavy metal ions from aqueous solution", Chemical Technology and Biotechnology 77 (2002) 429-436.
6. R. C. Bansal, et al., "Active carbon" (1988).
7. A. Reife, H. S. Freeman, "Environmental chemistry of Dyes and pigments", John Wiley Sons New York (1996).
8. C. Namasivayam, K. Kadirvelu, "Uptake of mercury (II) from wastewater by activated carbon from an unwanted agricultural solid by-product: coirpith", Carbon 37 (1999) 79-84.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

9. M. Rao, A.V. Parawate, A. G. Bhole, "Removal of Cr6+ and Ni2+ from aqueous solution using bagasse and fly ash. Waste Manage, 22 (2002) 821-30.

10. B. Lima, et al., "Application of Brazilian-pine fruit coat as abiosorbent to removal of reactive red 194 textile dye from aqueous solution.Kinetics and equilibrium study, J. Hazard, Mater, 155 (2008) 536-550.

11. R. Djeribi, O. Hamdaoui, "Sorption of Copper from Aqueous by Ceder Sawdust and Crushed Brick", Desalination 1-3 (2008) 95-112.

12. R. Djeribi, O. Hamdaoui, "Sorption of Copper from Aqueous by Ceder Sawdust and Crushed Brick", Desalination 1-3 (2008) 95-112.

13. G. Panda, e. al, "Adsorption of nickel on husk of Lathyrus sativus: Behavior and binding Mechanism, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces", 57 (2007)135-142.

14. M. Pratik, V. Choksia, et al., "Adsorption kinetic study for the removal of nickel (II) and aluminum (III) from an aqueous solution by natural adsorbents", Desalination 208 (2007) 216-231.

15. S. J. PATIL, A. G. BHOLE, et al., "Scavenging of Ni(II) Metal Ions by Adsorption on PAC and Babhul Bark", ENVIIRON SCIIENCE & ENGG 478(3) (2006) 203- 208.

16. A. C. A. d. Costa, S. G. F. Leite, "Biotechnol. Lett", 13 (1991).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]