

جداسازی یون منیزیم (Mg^{2+}) از محلول آب اکسیژنه با رزین تبادل یونی بر پایه کوپلیمر استایرن دی وینیل بنزن

شهرام قنبری پاکدهی^{1*}، محمدعلیپور²، سعید بابایی³، معصومه خدائی⁴

تهران - دانشگاه صنعتی مالک اشتر

(تاریخ وصول: 90/11/16، تاریخ پذیرش: 91/3/16)

چکیده

برای تغلیظ آب اکسیژنه از غلظت 35% وزنی به غلظت حدود 98% وزنی، از روش‌هایی مانند تقطیر تحت خلاء و کریستالیزاسیون سرمایشی استفاده می‌شود، اما از آنجایی که آب اکسیژنه در غلظت 90% و بالاتر حساسیت بسیار زیادی به ناخالصی‌ها داشته و امکان تجزیه آن وجود دارد، لذا ابتدا باید عمل خالص‌سازی بر روی این ماده انجام گیرد و سپس تغلیظ گردد. در این تحقیق، جداسازی کاتیون منیزیم از محلول تجاری آب اکسیژنه 35% وزنی که شامل حدود 64% آب و 1% ناخالصی است، به روش تبادل یون با استفاده از رزین کاتیونی اسیدی قوی Amberlite IR-120 Na با شبکه استایرن‌دی‌وینیل‌بنزن کوپلیمر و گروه عاملی سولفونیک اسید می‌باشد. برای جداسازی این کاتیون از سیستم ناپیوسته (batch) و مخزن مجهز به هم‌زن استفاده شده است. اثر تغییرات مقدار رزین و زمان تماس بر میزان جداسازی این کاتیون‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. اندازه‌گیری میزان کاتیون‌های فلزی موجود در آب اکسیژنه به روش نشر اتمی پلاسما جفت شده القایی (ICP) انجام شده است. نتایج آزمایشگاهی حاصل از جداسازی منیزیم، با مدل‌های جذب سطحی ایزوترم فرنرندلیچ، لانگمیر و یووانویچ، مقایسه شده است و نتایج بدست آمده حاکی از آن است که این مدل‌ها، با نتایج تجربی هم‌خوانی دارد.

واژه‌های کلیدی: آب اکسیژنه، منیزیم، رزین کاتیونی اسیدی قوی، Amberlite IR-120، مدل جذب سطحی ایزوترم، جداسازی.

1-مقدمه

به عنوان سوخت موتور و نیز عامل اکسیدکننده استفاده می‌شود. کاربرد آن در مواد ضد عفونی کننده⁵، صنایع کاغذسازی و در سوخت موشک به عنوان اکسیدکننده (مخصوصاً در غلظت‌های بسیار بالا) در سیستم‌های دوپیش‌رانه‌ای و نیز تک‌پیش‌رانه‌ای در سیستم تصحیح مدار ماهواره‌ها می‌باشد. آب اکسیژنه خالص و با غلظت پایین، در صنایع میکروالکترونیک برای پاک کردن IC به کار می‌رود[2]. همچنین به

آب اکسیژنه یا پراکسید هیدروژن، مایعی است به رنگ آبی روشن و با بویی شبیه به بوی ازن یا هالوژن‌ها (با غلظت بالا) که در غلظت‌های کم، بی‌رنگ و بی‌بو به نظر می‌رسد. این مایع از آب گرانونتر و چگال‌تر است و یک اسید ضعیف محسوب می‌شود[1].

آب اکسیژنه، خواص اکسیدکنندگی و رنگ‌بری بالایی دارد؛ از این ماده

* E-mail: sh_ghanbari73@yahoo.com

5- Disinfectant

1 و 3- استادیار

2 و 4- کارشناس ارشد
www.SID.ir

یون‌های موجود در محلول به سرعت به داخل شبکه مولکولی رزین نفوذ کرده و در آنجا تبادل یون صورت می‌گیرد [11-13]. فرایند تبادل یون شامل پنج مرحله است [14]: 1- نفوذ یون از درون محلول به سطح رزین⁴، 2- نفوذ این یون‌ها به داخل ذرات ژل⁵، 3- تبادل یون‌های موجود در محلول آب اکسیژنه با یون‌های تبادل کننده رزین، 4- نفوذ یون‌های تبادل شده به سطح رزین، 5- نفوذ این یون‌ها به داخل محلول [5]. برای سیستم‌های تبادل یون معمولاً از رزین‌های پلیمری استفاده می‌شود [15].

از جمله رزین‌های مورد استفاده برای جداسازی کاتیون‌ها به روش تبادل یون، Amberlite IR-120، Amberlite XAD-2، Amberlite XAD-4، DIAION PK228، DIAION PK224، Dowex 50، Doullite C-25 و Nalcite HCR هستند [16].

آب اکسیژنه با غلظت‌های بالا، ماده بسیار پرارزشی است، اما برای تغلیظ آب اکسیژنه 35% وزنی، ابتدا باید جداسازی ناخالصی‌ها (مانند منیزیم) از این محلول انجام شده و سپس به روش‌های تقطیر تحت خلاء و کریستالیزاسیون سرمایشی، عملیات تغلیظ انجام گیرد [3].

هدف از این مقاله، بررسی میزان جداسازی کاتیون فلزی منیزیم با رزین Amberlite IR-120 Na در شرایط مختلف است. این کاتیون‌های فلزی در هنگام تغلیظ آب اکسیژنه، یکی از خطرناک‌ترین کاتیون‌هایی هستند که می‌توانند به صورت کاتالیزور عمل کرده و باعث تجزیه آب اکسیژنه شوند. در نهایت، مدل‌های فرندلیچ⁶، لانگمیر⁷ و یووانویچ⁸ برای این جداسازی، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

2- بخش تجربی

2-1- مواد

برای این تحقیق، از رزین کاتیونی اسیدی قوی Amberlite IR-120 به صورت ژل ساخته شده توسط شرکت Rohm & Haas با مشخصات جدول (1) استفاده شده است.

برای فعال شدن این رزین، ابتدا به مدت 24 ساعت درون محلول اسید هیدروکلریک 7% قرار گرفته و سپس چندین مرتبه با آب دیونیزه شستشو داده می‌شود؛ بعد از آن، رزین در دمای 45°C خشک

عنوان تأمین‌کننده نیروی لازم برای نیروگاه‌ها در یک شرایط خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد. مهم‌ترین کاربرد آن به عنوان یک اکسیدکننده و بستر کاتالیستی برای سیستم احتراق تجهیزات و وسایل سنگین که نیاز به قدرت زیاد دارند، می‌باشد (به عنوان یک اکسیدکننده در سیستم احتراق زیر دریایی‌ها). آب اکسیژنه تجاری معمولاً با روش آنتراکینون¹ تولید می‌شود و ماده حاصل دارای ناخالصی‌های زیادی از جمله کاتیون‌های فلزی است [3]. در موشک‌های اسکات² و سایوز³ در سال‌های 1958-1999 از این ماده به عنوان اکسیدکننده استفاده شده است. استفاده از این ماده به عنوان پیشران در زیردریایی‌ها نیز از سال 1944 تا به امروز گزارش شده است. آب اکسیژنه ماده‌ای است که به مرور زمان، تجزیه و تبدیل به آب و اکسیژن می‌گردد. عمل تجزیه در محیط قلیایی سریع‌تر و در محیط اسیدی کندتر صورت می‌گیرد و همچنین در دماهای بالا، سرعت تجزیه، بسیار سریع است، سرعت تجزیه خود به خودی آب اکسیژنه در دمای 20°C بیش از 2% در سال، در دمای 70°C بیش از 2% در هفته، در دمای 90°C بیش از 5% در ساعت است. در غلظت‌های بسیار بالای آب اکسیژنه نیز، عمل تجزیه، فوق‌العاده خطرناک بوده و با انفجار همراه خواهد بود. ناخالصی‌های موجود در آب اکسیژنه در غلظت‌های بالای این ماده، می‌توانند به عنوان کاتالیست عمل نموده و به عمل تجزیه، سرعت بیشتری دهند.

تجزیه آب اکسیژنه با واکنش (1) صورت می‌گیرد:



$$\Delta H_{dec} = 23.44 \frac{\text{Kcal}}{\text{mole}}$$

این واکنش برگشت‌ناپذیر است و مطالعه روی سینتیک این واکنش نشان می‌دهد که ممکن است بین 10 تا 20 واکنش میانی در آن صورت گیرد [4]؛ بنابراین واکنش فوق، نتیجه این واکنش‌های میانی است [1].

روش‌های متفاوتی برای جداسازی ناخالصی‌ها از محلول آب اکسیژنه وجود دارد از جمله تقطیر، استخراج، اسمز معکوس (RO)، جذب سطحی و تبادل یون. روش تبادل یون با استفاده از رزین تبادل یونی، روشی مناسب، ساده و دارای راندمان مطلوب است [5-10]. در طول فرایند جداسازی با رزین تبادل یون، ساختار رزین هیچ تغییری نمی‌کند؛

4-Film Diffusion
5-Pore Diffusion
6- Freundlich
7- Langmuir
8- Jovanovic

1-Anthraquinone
2-SCOUT
3-SOYUZ

نتایج بدست آمده از این آنالیز نشان می‌داد که تعادل در همین مدت اتفاق افتاده است.

3- نتایج و بحث

همان طور که گفته شد، در دمای 95°C میزان تجزیه آب اکسیژنه 5% در ساعت است؛ افزایش pH محلول، می‌تواند بر میزان جداسازی کاتیون‌ها از محلول آب اکسیژنه، اثرگذار باشد اما به دلیل تجزیه آب اکسیژنه در محیط قلیایی ($\text{pH} > 7$)، لزومی ندارد که در pHهای بالاتر از هفت، میزان این جداسازی را تعیین نمود، زیرا ممکن است با افزودن سود به محلول آب اکسیژنه، در مدت زمان طولانی، تمام آب اکسیژنه تجزیه شده و تبدیل به آب گردد و از آنجایی که تجزیه آب اکسیژنه مسئله فوق‌العاده مهمی است؛ لذا پارامترهای pH و دما چندان حائز اهمیت نیستند [19].

در تعیین اثر زمان بر میزان جداسازی کاتیون‌ها، پس از اینکه تبادل یون از محلول به داخل رزین صورت گرفت، همواره در زمان زیاد (حدوداً بعد از 24 ساعت)، بار دیگر کاتیون‌ها از داخل رزین به محلول باز می‌گردند. در تمام مراحل، فرایند به صورت ناپیوسته⁴ انجام می‌شود.

3-1- اثر زمان تماس

در تعیین تأثیر زمان تماس بر میزان جداسازی کاتیون منیزیم با مقادیر 0/1 mg/ml، 0/3 mg/ml و 0/5 mg/ml، مقدار کاتیون باقی‌مانده در محلول آب اکسیژنه، در زمان‌های 1، 2، 4، 6، 8، 10، 12، 14، 16، 18 و 20 دقیقه اندازه‌گیری شد. این آزمایش با 1 گرم رزین خشک در 20 میلی‌لیتر از محلول آب اکسیژنه 35% وزنی که با یک مگنت با دور 180 rpm هم‌زده می‌شد، در دمای 298K انجام گرفت. نتایج حاصل از این جداسازی مطابق شکل (1) است. نتایج نشان داد که با افزایش زمان تماس، درصد جداسازی کاتیون منیزیم تا نقطه تعادل افزایش می‌یابد؛ نقطه تعادل با افزایش میزان کاتیون منیزیم در محلول آب اکسیژنه 35% کاهش می‌یابد.

می‌گردد [17 و 18]. برای احیای این رزین، از HCl با غلظت 4 تا 10% یا H_2SO_4 با غلظت 1 تا 5% استفاده می‌شود. محلول مورد آزمایش، آب اکسیژنه 35% وزنی است.

جدول 1- خواص رزین Amberlite IR-120.

Amberlite IR-120	خصوصیات
Styrene divinylbenzene copolymer	زمینه
Sulfonic acid	گروه عاملی
Na^+	فرم کاتیون
0/6-0/8	میانگین سایز (mm)
135	ماکزیمم دمای عملیاتی
0-14	pH
2	کل ظرفیت

* (Rohm & Haas Co.)¹.

2-2- تجهیزات

اندازه‌گیری مقادیر کاتیون منیزیم در محلول آب اکسیژنه، به روش نشر اتمی پلاسما جفت شده القایی ICP² مدل Varian-VistaPro انجام شده است و دقت دستگاه در اندازه‌گیری منیزیم، کمتر از 0/01 ppm است.

2-3- شستشوی رزین با آب

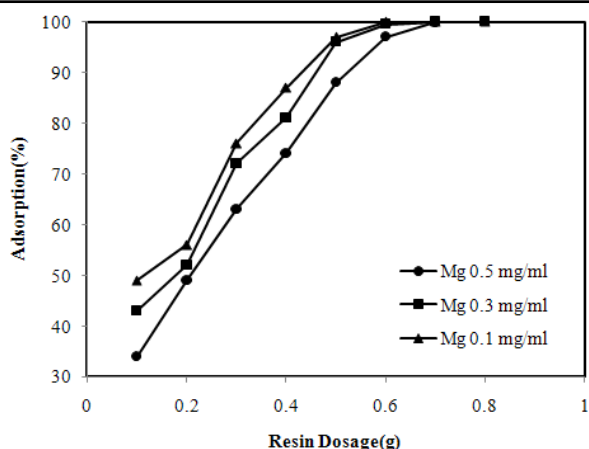
رزین‌های مورد استفاده در تعیین اثر متغیرهای مختلف بر میزان جداسازی کاتیون‌ها، قبلاً خشک شده است؛ در هنگام استفاده از این رزین، بار دیگر با آب دو بار تقطیر شده³ شستشو داده تا در صورت وجود اسید هیدروکلریک بر روی رزین، اسید به صورت کامل جدا شده و آزمایشات انجام گیرد.

2-4- مطالعات تعادلی

برای مطالعات تعادل از 1 گرم رزین Amberlite IR-120 به فرم Na استفاده شده، به طوری که این رزین به همراه 20ml از محلول آب اکسیژنه 35% وزنی در داخل یک فلاسک ریخته و برای معلق بودن رزین در داخل محلول، از یک همزن با دور 180rpm استفاده شد. آزمایشات در دمای 298 K و به مدت 2 h انجام گرفت. در پایان، مقدار 5 ml از محلول آب اکسیژنه برای آنالیز ICP فرستاده شد و

4- Batch

1- www.rohmmaas.com
2- Inductively Coupled Plasma
3- Double Distilled Water



شکل 2- تأثیر مقدار رزین بر میزان جداسازی کاتیون‌های Mg از محلول پراکسید هیدروژن.

3-3- بررسی مدل‌های جذب

مدل‌های لانگمیر، فرنللیچ و یووانویچ، سه مدل رایج ایزوترم هستند که در روابط تبادل یون بین دو فاز جامد و مایع مورد استفاده قرار می‌گیرند [20-23].

رابطه فرنللیچ غیر خطی ایزوترم مطابق معادله (1) است.

$$Q_e = K C_e^n \quad (1)$$

فرم خطی معادله فرنللیچ، مطابق معادله (2) است.

$$\log Q_e = \log K + n \log C_e \quad (2)$$

C_e غلظت تعادلی فلز در محلول؛ Q_e مقدار فلز جذب شده بر واحد وزن رزین؛ K و n ثابت هستند که به ظرفیت و شدت جذب بستگی دارد. اگر نمودار $\log C_e$ در مقابل $\log Q_e$ رسم شود، عرض از مبدأ، $\log K$ و شیب خط، n است.

رابطه لانگمیر غیر خطی ایزوترم مطابق معادله (3) است.

$$Q_e = \frac{K_L Q_m C_e}{1 + K_L C_e} \quad (3)$$

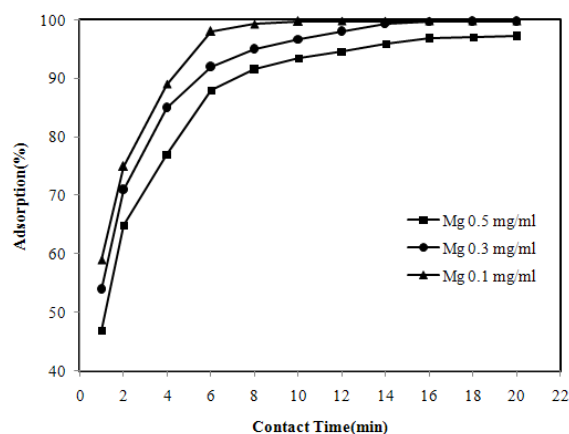
فرم خطی معادله لانگمیر مطابق با معادله (4) است.

$$\frac{1}{Q_e} = \left[\left(\frac{1}{K_L Q_m} \right) \left(\frac{1}{C_e} \right) \right] + \left(\frac{1}{Q_m} \right) \quad (4)$$

Q_m بیشترین مقدار کاتیون فلزی بر واحد جرم رزین که به روش تبادل یون، جذب می‌شود و k مقدار ثابت است که به نیروی بین مولکول‌ها بستگی دارد.

اگر نمودار $1/C_e$ در مقابل $1/Q_e$ رسم شود، عرض از مبدأ، $1/Q_m$ و شیب خط، $1/K_L Q_m$ است. البته در این رابطه، Q_m را از قبل محاسبه کرده‌ایم.

رابطه یووانویچ غیر خطی مطابق معادله (5) است [24].



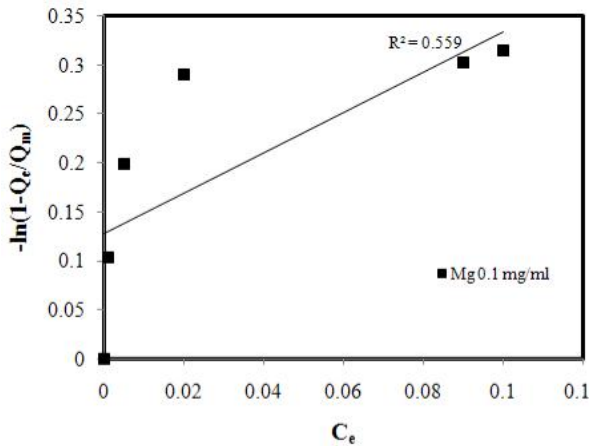
شکل 1- تأثیر زمان تماس بر میزان جداسازی کاتیون‌های Mg از محلول پراکسید هیدروژن.

برای محلول حاوی 0/1 mg/ml از منیزیم، در زمان تماس حدود 10 دقیقه، میزان جداسازی در حدود 100% و برای محلول حاوی 0/3 mg/ml از منیزیم، در زمان تماس حدود 14 دقیقه، میزان جداسازی در حدود 100% و برای محلول حاوی 0/5 mg/ml از منیزیم، در زمان تماس حدود 16 دقیقه، میزان جداسازی، 97/2% است.

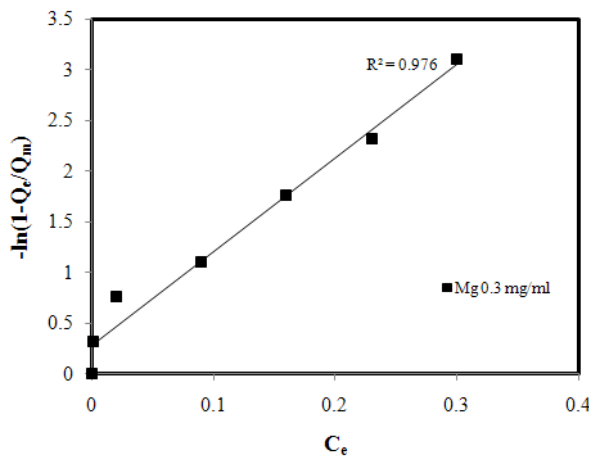
3-2- اثر مقدار رزین

در تعیین اثر مقدار رزین بر میزان جداسازی کاتیون منیزیم با مقادیر 0/1 mg/ml، 0/3 mg/ml و 0/5 mg/ml، ظرفیت رزین محاسبه گردید. برای این کار مقادیر 0/1، 0/2، 0/3، 0/4 و 0/5 گرم (بین 2 تا 10 گرم رزین به ازای هر لیتر) رزین مورد آزمایش واقع می‌شد. این آزمایش با رزین خشک در 50 میلی‌لیتر از محلول آب اکسیژنه 35% وزنی که با یک مگنت با دور 180 rpm هم‌زده می‌شد، در دمای 298K انجام می‌گیرد (شکل 2).

نتایج نشان داد که با افزایش مقدار رزین، میزان جداسازی تا نقطه تعادل افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش میزان کاتیون منیزیم در محلول آب اکسیژنه، مقدار رزین، افزایش می‌یابد به طوری که برای محلول حاوی 0/1 mg/ml منیزیم، با مقدار 0/6 g از رزین، میزان جداسازی، 100% است و برای محلول حاوی 0/3 mg/ml منیزیم، به ترتیب با مقدار 0/62 g از رزین، میزان جداسازی، 100% است و برای محلول حاوی 0/5 mg/ml از منیزیم، به ترتیب با مقدار 0/7 g از رزین، میزان جداسازی، 100% است.



شکل 5- نمودار یووانویج ایزوترم برای جذب سطحی 0/1 mg/ml منیزیم توسط رزین Amberlite IR-120



شکل 6- نمودار یووانویج ایزوترم برای جذب سطحی 0/3 mg/ml منیزیم توسط رزین Amberlite IR-120

شکل‌های (3 تا 6) نشان می‌دهند که معادله فرندلیچ برای مقدار 0/3 mg/ml از منیزیم معتبر بوده و برای مقدار 0/1 mg/ml از منیزیم، دارای خطای محرز می‌باشد؛ اما معادله لانگمیر تقریباً در هر دو مقدار 0/1 mg/ml و 0/3 mg/ml برای کاتیون منیزیم، معتبر است و معادله یووانویج، فقط برای مقدار 0/3 mg/ml از منیزیم معتبر بوده و برای سایر مقادیر، دارای خطای زیادی می‌باشد.

4- نتیجه‌گیری

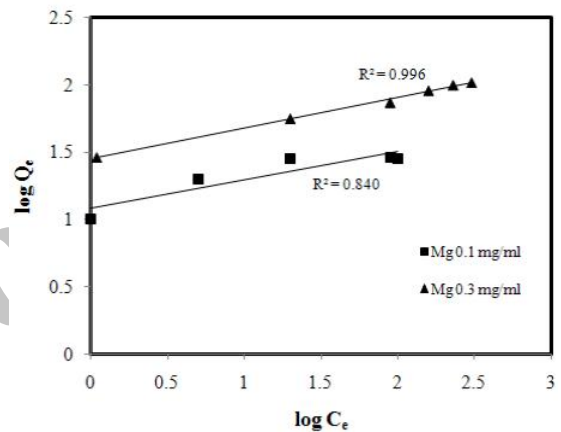
نتایج نشان می‌دهد که رزین Amberlite IR-120 برای جداسازی کاتیون منیزیم از محلول آب اکسیژنه، مناسب است. در این تحقیق،

$$Q_e = Q_m [1 - \exp(-KC_e)] \quad (5)$$

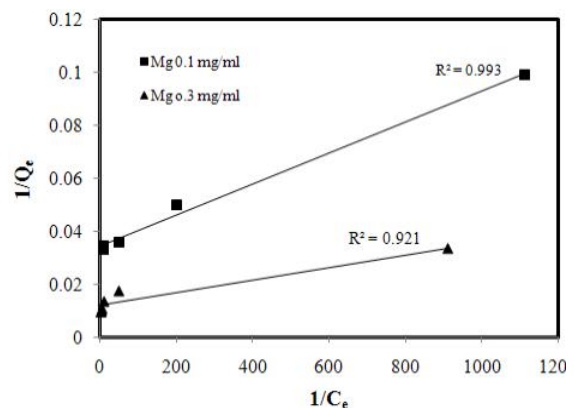
فرم خطی معادله یووانویج مطابق با معادله (6) است.

$$-\ln\left(1 - \frac{Q_e}{Q_m}\right) = KC_e \quad (6)$$

اگر نمودار C_e در مقابل $-\ln(1-Q_e/Q_m)$ رسم شود، شیب خط برابر K است. ثوابت K و n به همراه ضریب همبستگی R^2 برای معادلات فرندلیچ، لانگمیر و یووانویج در جدول (2) آمده است. ظرفیت جذب رزین Amberlite IR-120 برای کاتیون منیزیم، مقدار 111/13 mg/g_{res} است. شکل‌های (3) تا (6)، نمودارهای خطی معادلات فرندلیچ، لانگمیر و یووانویج برای جداسازی منیزیم با مقادیر 0/1 mg/ml و 0/3 mg/ml را نشان می‌دهد.



شکل 3- نمودار فرندلیچ ایزوترم برای جذب سطحی منیزیم توسط رزین Amberlite IR-120



شکل 4- نمودار لانگمیر ایزوترم برای جذب سطحی منیزیم توسط رزین Amberlite IR-120

1- Correlation coefficient

جدول 2- ثابت‌های مدل جذب سطحی فرندلیچ، لانگمیر و یووانویچ برای جداسازی کاتیون منیزیم از محلول پراکسید هیدروژن.

Resin	Concentration of Mg in HP(mg/ml)	Freundlich isotherm			Langmuir isotherm		Jovanovic isotherm	
		n	K	R ²	K	R ²	K	R ²
Amberlite IR-120	0.1	0.210	12	0.840	198.4	0.993	2.056	0.559
	0.3	0.229	28.05	0.996	450.45	0.921	9.253	0.976

- [8] Morris, G. W.; Feasey, N. D. "Purification of Hydrogen Peroxide."; US Patent 5,262,058, 1990.
- [9] Bianchi, U. P.; Leone, U.; Lucci, M. "Process for the Industrial Production of High Purity Hydrogen Peroxide."; US Patent 6,333,018, 2001.
- [10] Tanaka, F.; Sugawara, I.; Adachi, T.; Mine, K. "Process for Producing a Purified Aqueous Hydrogen Peroxide Solution."; US Patent 6,896,867, 2005.
- [11] Cavaco, S. A.; Fernandes, S.; Augusto, C. M.; Quina, M. J.; Gando-Ferreira, L. M. "Evaluation of Chelating Ion-Exchange Resins for Separating Cr(III) from Industrial Effluent."; J. Hazard. Mater. 2009, 169, 516-523.
- [12] Rengaraj, S.; Yeon, J. W.; Kim, Y.; Jung, Y.; Haa, Y. K.; Kima, W. H. "Adsorption Characteristics of Cu(II) onto Ion Exchange Resins 252H and 1500H: Kinetics, Isotherms and Error Analysis."; J. Hazard. Mater. 2007, B 143, 469-477.
- [13] Hamdaoui, O. "Removal of Copper(II) from Aqueous Phase by Purolite C100-MB Cation Exchange Resin in Fixed Bed Columns: Modeling."; J. Hazard. Mater., 2009, 161, 737-746.
- [14] Abo-Farha, S. A.; Abdel-Aal, A. Y.; Ashour, I.A.; Garamon, S. E. "Removal of Some Heavy Metal Cations by Synthetic Resin Purolite C100."; J. Hazard. Mater. 2009, 169, 190-194.
- [15] Demirbas, A.; Pehlivan, E.; Gode, F.; Altun, T.; Arslan, G. "Adsorption of Cu, Zn, Ni, Pb and Cd from Aqueous Solution on Amberlite IR-120 Synthetic Resin."; J. Coll. Inter. Sci. 2005, 282, 20-25.
- [16] قنبری پاکدهی، شهرام؛ علی‌پور، محمد؛ اسماعیلی جندابه، مهدی؛ خدائی، معصومه "خالص‌سازی و تغلیظ پراکسید هیدروژن"، مجله علمی-ترویجی تحقیق و توسعه مواد پراثرزی، شماره 1 شماره پیاپی 13 سال هفتم، ص 65-70، بهار و تابستان 90.
- [17] Alguacil, F. S.; Alonso, M.; Lozano, L. J. "Chromium(III) Recovery from Waste Acid Solution by Ion Exchange Processing Using Amberlite IR-120 Resin: Batch and Continuous Ion Exchange Modeling."; Chemosphere 2004, 57, 789-793.
- [18] Kocaoba, S. "Comparison of Amberlite IR120 and Dolomite's Performances for Removal of Heavy Metals."; J. Hazard. Mater. 2007, 147, 488-496.

اثر مقدار رزین و زمان تماس بر جداسازی کاتیون منیزیم مورد مطالعه قرار گرفته است.

نتایج این بخش حاکی از آن است که افزایش زمان تماس تا نقطه تعادل باعث افزایش میزان جذب منیزیم می‌شود که نقطه تعادل بستگی به میزان کاتیون در محلول اولیه آب اکسیژنه دارد و با کاهش مقدار کاتیون در محلول اولیه، زمان تماس تا نقطه تعادل کاهش می‌یابد. افزایش مقدار رزین هم باعث افزایش میزان جداسازی کاتیون منیزیم از محلول آب اکسیژنه می‌شود. افزایش مقدار رزین باعث افزایش سطح تماس شده و میزان جداسازی را افزایش می‌دهد. مدل‌های جذب سطحی فرندلیچ، لانگمیر و یووانویچ برای جداسازی منیزیم مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج حاصل نشان می‌دهد که این معادلات برای مقدار 0/3 mg/ml از کاتیون منیزیم دارای جواب‌های مناسبی است و بهترین جواب برای معادله لانگمیر و مقدار ناخالصی 0/1 mg/ml از کاتیون منیزیم بدست آمده است.

مراجع

- [1] "Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry." 6th. Ed., Wiley VCH, 1998.
- [2] Lin, Q.; Jiang, Y.; Geng, J.; Qian, Y. "Removal of Organic Impurities with Activated Carbons for Ultra-Pure Hydrogen Peroxide Preparation."; Chem. Engin. J. 2008, 139, 264-271.
- [3] Kirk, O. "Encyclopedia of Chemical Technology."; 5th. Ed., J. Wiley & Sons, 2008.
- [4] Romero, A.; Santos, A.; Vicente, F.; Rodriguez, S.; Lafuente, A. L. "In Situ Oxidation Remediation Technologies: Kinetic of Hydrogen Peroxide Decomposition on Soil Organic Matter."; J. Hazard. Mater. 2009, 170, 627-632.
- [5] Elliot, R. B.; Yan, P.; Young, J. H. "Purification of Hydrogen Peroxide."; US Patent 3,297,404, 1957.
- [6] Watanabe, S.; Ohura, O. "Process for Preparing High Purity Hydrogen Peroxide."; US Patent 5,055,286, 1988.
- [7] Kirksey, K. "Purification of Hydrogen Peroxide."; US Patent 4,985,228, 1990.

- [22] Langmuir, I. "The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Glass, Mica and Platinum."; J. Am. Chem. Soc. 1918, 40, 1361–1403.
- [23] Jha, M. K.; Van Nguyen, N.; Lee, J.; Jeong, J.; Yoo, J. "Adsorption of Copper from Sulphate Solution of Low Copper Contents Using the Cationic Resin Amberlite IR120."; J. Hazard. Mater. 2009, 164, 948-953.
- [24] Oancea, A. M. S.; Drinkal, C.; Holl, W. H. "Evaluation of Exchange Equilibria on Strongly Acidic Ion Exchangers with Gel-Type, Macroporous and Macronet Structure."; Reactive & Functional Polymers 2008, 68, 492-506.
- [19] قنبری پاکدهی، شهرام؛ علیپور، محمد؛ بابایی، سعید؛ ذرعی، محمدعلی "جداسازی کاتیون‌ها از محلول پراکسید هیدروژن و بررسی مدل‌های جذب سطحی با استفاده از کاتیون کروم (Cr^{3+})"، مجله علمی- پژوهشی تحقیق و توسعه مواد پراثرژی، شماره 3 شماره پیاپی 13 سال ششم، ص 45-51 زمستان 90.
- [20] Do, D. D. "Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics."; Imperial College Press, London, 1998.
- [21] Bayat, B. "Comparative Study of Adsorption Properties of Turkish Fly Ashes. I. The Case of Nickel(II), Copper(II) and Zinc(II)."; J. Hazard. Mater. 2002, 95, 251–273.

Archive of SID