

جداسازی کاتیون‌ها از محلول پراکسید هیدروژن و بررسی مدل‌های جذب سطحی با استفاده از کاتیون کروم (Cr^{+3})

شهرام قنبری پاکدهی^{۱*}، محمد علی پور^۲، سعید بابایی^۳، محمد علی ذرعی^۴

تهران - دانشگاه صنعتی مالک اشتر

(تاریخ وصول: ۸۹/۸/۲۵، تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۲۲)

چکیده

برای تغلیظ پراکسید هیدروژن تا گرید نظامی (حدود 98% وزنی)، ابتدا باید محلول پراکسید هیدروژن کاملاً خالص‌سازی شود. در این کار تحقیقاتی، جداسازی ناخالصی‌های فلزی از محلول پراکسید هیدروژن مورد بررسی واقع شده است و کاتیون‌های Fe ، Al ، Pb و Zn از محلول تجاری پراکسید هیدروژن با استفاده از رزین کاتیونی اسیدی قوی Amberlite IR-120 جداسازی شده‌اند؛ جداسازی این کاتیون‌ها در مخزن مجهز به همزن با دور ثابت انجام شد. اثر تغییرات pH مقدار رزین، دما و زمان تماس بر مقدار جداسازی این کاتیون‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار کاتیون‌های فلزی به روش نشر اتمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP) اندازه‌گیری شده است. در تعیین میزان اثر مقادیر مختلف رزین بر میزان جداسازی، کاتیون‌های منیزیم دو ظرفیتی و کروم سه ظرفیتی با مقدار مشخص به محلول اضافه شده و نتایج آن دنبال شده است. سازگاری نتایج آزمایشگاهی حاصل از جداسازی کروم سه ظرفیتی با مدل‌های فرن‌دلیچ و لانگمیر مقایسه شد و نشان داده شد که فقط در محدوده خاصی از غلظت کروم، این مدل‌ها جواب‌های نسبتاً مناسبی می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: پراکسید هیدروژن، جداسازی، رزین کاتیونی اسیدی قوی، Amberlite IR-120، فرن‌دلیچ، لانگمیر.

1- مقدمه

این ماده، بعنوان کاتالیست عمل کرده و ضمن تجزیه آن و آزاد کردن گرمای زیاد، باعث انفجار می‌شود. پراکسید هیدروژن ماده‌ای است که به مرور تجزیه و تبدیل به آب و اکسیژن می‌گردد. عمل تجزیه در محیط بازی سریع‌تر و در محیط اسیدی کندتر صورت می‌گیرد، عمل تجزیه در دمای بالاتر، سریع‌تر است (جدول 1). روش‌های متفاوتی (نظیر تقطیر، استخراج، اسمز معکوس (RO) و تبادل یون) برای جداسازی ناخالصی‌ها از محلول پراکسید هیدروژن گزارش شده است که روش تبادل یون با استفاده از رزین تبادل یونی، روشی مناسب، ساده و دارای راندمان مطلوب است.

پراکسید هیدروژن در غلظت‌های بالا بعنوان اکسیدکننده در سیستم‌های دو پیشرانده^۵ و نیز مولد گاز و تک‌پیشرانده^۶ در سیستم‌های تراستر عمل می‌نماید [1]. همچنین از پراکسید هیدروژن خالص برای شستشوی IC^7 در صنایع نظامی و فضایی استفاده می‌شود [2]. پراکسید هیدروژن تجاری معمولاً با روش آنتراکینون^۸ تولید می‌شود ولی ماده حاصل برای مصارف نظامی مناسب نیست زیرا یون‌های موجود در آن زیاد است. یون‌های موجود در پراکسید هیدروژن تجاری (در غلظت حدود 35% وزنی) در مراحل تغلیظ

* E-mail: sh_ghanbari73@yahoo.com

۱ و ۳- استادیار

5- Bipropellant

۲ و ۴- کارشناس ارشد

6- Monopropellant

7- Integrated Circuit

8- Anthraquinone

جدول 1- تجزیه خودبخودی پراکسید هیدروژن در دماهای مختلف [3].

سرعت تجزیه	دما ($^{\circ}C$)
بیشتر از 2% در سال	20
بیشتر از 2% در هفته	70
بیشتر از 5% در ساعت	95

برای فعال شدن، ابتدا به مدت 24 ساعت درون محلول اسید هیدروکلریک 7% قرار داده و سپس چندین مرتبه با آب دیونیزه² شستشو داده شد؛ بعد از آن، رزین در دمای $45^{\circ}C$ خشک شد. برای تغییر مقدار pH از سدیم هیدروکسید استفاده شد. برای احیای این رزین از HCl با غلظت 4 تا 10% یا H_2SO_4 با غلظت 1 تا 5% استفاده شد. غلظت پراکسید هیدروژن مورد استفاده، 35% بوده و کاتیون‌های موجود در آن مطابق جدول (2) است.

جدول 2- خواص رزین Amberlite IR-120 از شرکت Rohm & Haas [8].

مشخصات	Amberlite IR-120
شبکه	استایرن دی‌وینیل بنزن کوپلیمر
گروه عاملی	سولفونیک اسید
شبکه یونی	Na^{+}
میانگین اندازه (mm)	0/6-0/8
ماکزیمم حرارت ($^{\circ}C$)	135
محدوده pH	0-14
ظرفیت کل (eq/lit)	2

جدول 3- آنالیز کاتیون‌های موجود در پراکسید هیدروژن 35%

نوع ناخالصی	مقدار ناخالصی (ppm)
Al	0/15
Cr	1/03
Fe	0/12
Pb	0/14
Zn	0/03

2-2- تجهیزات

اندازه‌گیری یون‌ها به روش نشر اتمی پلاسمای جفت شده القایی³ (ICP) مدل Varian-VistaPro انجام شد. یک ظرف مجهز به همزن با دوره‌های مختلف و یک heater برای تغییر دما مورد استفاده قرار گرفت.

2-3- آماده سازی رزین

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 شده شستشو داده شد تا در صورت وجود اسید هیدروکلریک بر روی رزین، اسید بصورت کامل جدا شده و آزمایشات انجام گیرد [9].

از مزیت‌های این روش می‌توان به مصرف انرژی، زمان و هزینه بسیار کمتر نسبت به روش‌های دیگر اشاره کرد. از لحاظ ایمنی نیز، این روش را می‌توان تقریباً بی‌خطر دانست [4]. در طول فرایند جداسازی با رزین تبادل یون، ساختار رزین تغییر نمی‌کند؛ یون‌های موجود در محلول به سرعت به داخل شبکه مولکولی رزین نفوذ کرده و در آنجا تبادل یون صورت می‌گیرد. فرایند تبادل یون شامل پنج مرحله است:

1- نفوذ یون از درون محلول به سطح رزین (diffusion film)؛

2- نفوذ این یون‌ها به داخل ذرات ژل (pore diffusion)؛

3- تبادل این یون‌ها با یون‌های تبادل کننده رزین؛

4- نفوذ یون‌های تبادل شده به سطح رزین؛

5- نفوذ این یون‌ها به داخل محلول [5].

در این کار تحقیقاتی، بررسی میزان جداسازی کاتیون‌ها در شرایط مختلف و تولید محلول پراکسید هیدروژن عاری از کاتیون‌های فلزی مد نظر می‌باشد. در نهایت، تحقیقات روی فلز کروم را گسترش داده و میزان تفاوت میان جواب‌های آزمایشگاهی و تئوری (که از روابط جذب سطحی فرندلیچ و لانگمیر بدست می‌آید) مورد توجه قرار گرفته است. این معادلات، معادلات جذب سطحی دو پارامتری هستند [6] و [7]. معادله فراندلیچ یک معادله تجربی است که بیشتر برای درک جذب یون‌های فلزی روی سطح ناهمگن با جذب سطحی چند لایه‌ای و اینکه مقدار حل شده جذب سطحی شده به طور نامحدود با افزایش غلظت زیاد می‌شود. با این نتایج، ماده خالص بدست آمده را می‌توان به روش‌های تقطیر تحت خلاء و نو بلور کردن سرمایشی، تغلیظ نموده و به گرید نظامی رساند.

2- بخش تجربی

1-2- مواد

رزین استفاده شده در این کار تحقیقاتی، رزین کاتیونی اسیدی قوی Amberlite IR-120 با مشخصات جدول (1) و به صورت ژل¹ است. این رزین

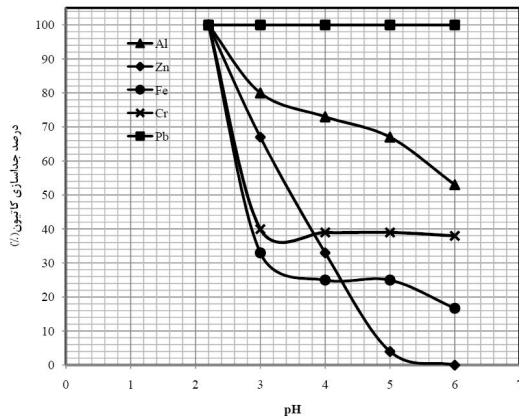
2- Deionized Water
3- Inductively Coupled Plasma

1- Gel-type

3- نتایج و بحث

3-1- اثر متغیرهای مختلف بر میزان جداسازی

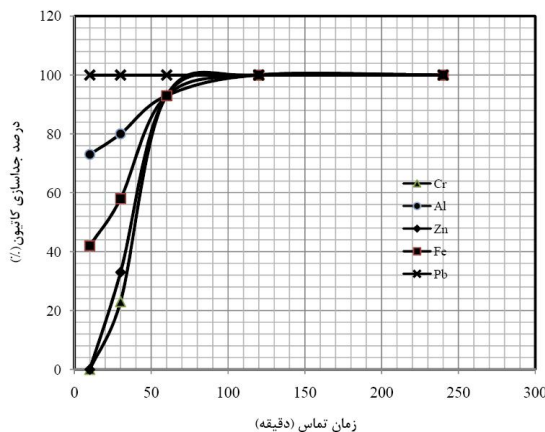
مشاهدات اولیه نشان داد که متغیرهایی که بر میزان جداسازی کاتیون‌ها از محلول پراکسید هیدروژن نقش حائز اهمیتی دارند، عبارتند از: pH، دما، مقدار رزین و زمان تماس. در اندازه‌گیری اثر دما بر میزان جداسازی کاتیون‌ها، دما حداکثر تا 70°C بالا برده می‌شود زیرا مطابق جدول (1)، در دمای 95°C ، میزان تجزیه پراکسید هیدروژن 5% در ساعت است. در تعیین اثر زمان بر میزان جداسازی کاتیون‌ها، باید اشاره شود که پس از اینکه تبادل یون از محلول به داخل رزین صورت گرفت، همواره در طول زمان (حدوداً بعد از 24 ساعت)، بار دیگر کاتیون‌ها از داخل رزین به محلول باز می‌گردند. افزایش pH محلول، می‌تواند بر میزان جداسازی کاتیون‌ها از محلول پراکسید هیدروژن، اثر گذار باشد اما به دلیل تجزیه پراکسید هیدروژن در محیط قلیایی ($\text{pH} > 7$)، نمی‌توان در pH‌های بالاتر از هفت، میزان این جداسازی را تعیین نمود، زیرا ممکن است با افزودن سود به محلول پراکسید هیدروژن، در مدت زمان طولانی تمام پراکسید هیدروژن تجزیه شده و تبدیل به آب گردد. در تمام مراحل، فرایند به صورت ناپیوسته انجام شد [10 و 11].



شکل 1- تأثیر pH بر میزان جداسازی کاتیون‌های موجود در محلول پراکسید هیدروژن.

3-1-2- اثر دما

همانطور که اشاره شد در تعیین اثر دما بر میزان جداسازی، دما را نمی‌توان به میزان زیادی افزایش داد، چون افزایش دما منجر به تجزیه پراکسید هیدروژن می‌شود؛ بنابراین، آزمایشات در دمای کمتر از 70°C انجام گرفت. 20 میلی‌لیتر از محلول 35% پراکسید هیدروژن با 5 گرم از رزین Amberlite IR120 را در داخل یک بشر ریخته و با دور 700 rpm به مدت 1 ساعت در پنج دمای 10°C ، 25°C ، 35°C ، 45°C و 70°C تست شد (شکل 2) [14].



شکل 2- تأثیر دما بر میزان جداسازی کاتیون‌ها در محلول پراکسید هیدروژن.

3-1-1- اثر pH

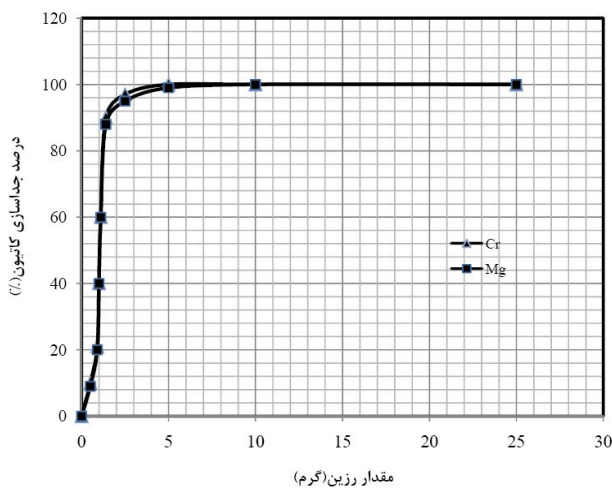
ابتدا pH محلول پراکسید هیدروژن 35% برابر 2/2 اندازه‌گیری شد. به دلیل تجزیه پراکسید هیدروژن در محیط قلیایی، محدوده تغییرات pH برای جداسازی کاتیون‌ها از محلول پراکسید هیدروژن بین 2/2 تا 6 تعیین گردید. این محدوده، بین 2 تا 7 گزارش شده است [12 و 13].

در تعیین اثر pH بر میزان جداسازی کاتیون‌ها و جهت ارزیابی میزان درستی نتایج حاصل، 1 ppm کروم به محلول پراکسید هیدروژن اضافه شد. با توجه به این موضوع، محلول اولیه پراکسید هیدروژن، دارای 1/03 ppm از کروم بود. این آزمایش با 10 گرم رزین خشک در 20 میلی‌لیتر از محلول پراکسید هیدروژن 35% که با یک مگنت با دور 700 rpm همزده می‌شد، در دمای محیط انجام گرفت. آزمایشات در pH‌های 2/2، 3، 4، 5 و 6 انجام شد (شکل 1) [14]. پراکسید هیدروژن با افزایش pH، تجزیه می‌شود. همان‌طور که در شکل 1 مشخص است، با افزایش pH، میزان جداسازی کاتیون‌ها کاهش می‌یابد. در این آزمایش، به دلیل تجزیه پراکسید هیدروژن، نمی‌توان pH را چندان افزایش داد و در محدوده pH بین 2/2 تا 6، مقدار جداسازی کاتیون‌ها در محلول پراکسید هیدروژن به طور نامنظمی تغییر می‌کند. در

که ظرفیت این رزین برای کاتیون‌های سه ظرفیتی (X^{+3})، در محدوده 20ppm تا 50 ppm است و مقدار بهینه رزین برای جداسازی کاتیون‌های سه ظرفیتی، حدود 50 ppm به ازای هر گرم رزین است. درصد جداسازی کاتیون‌ها به ازای مقادیر مختلف رزین در برابر مقدار ثابت 50 ppm از کاتیون‌های دو ظرفیتی و سه ظرفیتی، مطابق شکل 3 است.

جدول 4- آنالیز کاتیون Mg^{+2} و Cr^{+3} (بر حسب ppm) در محلول پراکسید هیدروژن.

مقدار کاتیون (ppm)		نوع کاتیون				
50	20	10	5	2	0/010	Mg^{+2}
0/180	0/010	0/010	0/010	0/010	0/100	Cr^{+3}
6/460	0/090	0/050	0/080	0/100		



شکل 3- تأثیر مقدار رزین بر درصد جداسازی کاتیون‌های Cr^{+3} و Mg^{+2} از محلول پراکسید هیدروژن.

مقدار رزین یکی از مهم‌ترین فاکتورهای اثرگذار در جداسازی ناخالصی‌ها از محلول پراکسید هیدروژن است. با آزمایشات دقیقی که روی کاتیون‌های دو ظرفیتی و سه ظرفیتی انجام گرفت، مشخص شد که ظرفیت این رزین به ازای هر دو نوع از کاتیون‌های دو ظرفیتی و سه ظرفیتی حدوداً 30 ppm تا 50 ppm به ازای هر گرم از رزین است. مقدار بهینه رزین به ازای مقدار مشخص 50 ppm از کاتیون‌های دو ظرفیتی و سه ظرفیتی، در حدود 1 تا 3 گرم است.

3-1-4- اثر زمان تماس

در تعیین تأثیر زمان تماس بر میزان جداسازی کاتیون‌ها، مقدار کاتیون‌های باقیمانده در محلول پراکسید هیدروژن، در زمان‌های 10 دقیقه، 30 دقیقه، 1

افزایش دمای محلول پراکسید هیدروژن، دو نکته مثبت و منفی دارد. نکته مثبت، افزایش میزان جداسازی کاتیون‌های فلزی با افزایش دماست و نکته منفی، افزایش تجزیه محلول پراکسید هیدروژن با افزایش دماست. در تعیین میزان اثر دما بر جداسازی کاتیون‌ها از محلول پراکسید هیدروژن، شرایط تا حدودی مشابه شرایط تغییر pH است، چرا که افزایش دما نیز باعث سرعت بخشیدن به تجزیه پراکسید هیدروژن می‌گردد. در این آزمایش مشخص شد که دمای $25^{\circ}C$ ، مناسب‌ترین دماست، هرچند که در دماهای بالاتر نیز جداسازی کامل صورت گرفته است.

از همان ابتدا قابل پیشبینی بود که چون افزایش pH و دما باعث تجزیه پراکسید هیدروژن می‌شوند نمی‌توان از آن‌ها به عنوان فاکتورهای اثرگذار یاد کرد و جای مانور زیادی ندارند. در اصل هدف از جداسازی ناخالصی‌ها از محلول پراکسید هیدروژن، جلوگیری از تجزیه این ماده است.

3-1-3- اثر مقدار رزین

در تعیین اثر مقدار رزین بر میزان جداسازی کاتیون‌ها، ظرفیت رزین محاسبه می‌گردد. برای این کار مقادیر 1، 2، 4 و 10 گرم رزین آزمایش شد. این آزمایش با رزین خشک در 20 میلی‌لیتر از محلول پراکسید هیدروژن 35% که با یک مگنت با دور 700 rpm همزده می‌شد، در دمای محیط انجام گرفت.

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که مقدار بهینه رزین کمتر از 1 گرم است و میزان درصد جداسازی در مقادیر مختلف رزین، تغییر چندانی نمی‌کند. از این رو آزمایشات، با تزریق مقادیر مختلف کروم سه ظرفیتی و منیزیم دو ظرفیتی دنبال شد. ابتدا مقادیرهای 2، 5، 10، 20 و 50 ppm از منیزیم دو ظرفیتی را به 20 میلی‌لیتر از محلول پراکسید هیدروژن و 1 گرم از رزین خشک شده Amberlite IR120 اضافه کرده و مخلوط در مدت 1 ساعت با مگنت با دور 700 rpm همزده شد (جدول 4) [14]. از این آزمایش مشخص می‌شود که ظرفیت این رزین برای کاتیون‌های دو ظرفیتی (X^{+3})، در محدوده 20ppm تا 50ppm است. و مقدار بهینه رزین برای جداسازی کاتیون‌های سه ظرفیتی، حدود 50 ppm به ازای هر گرم رزین است.

در آزمایش دیگر، مقادیرهای 2، 5، 10، 20 و 50 ppm از کروم سه ظرفیتی را به 20 میلی‌لیتر از محلول پراکسید هیدروژن و 1 گرم از رزین خشک شده Amberlite IR120 اضافه کرده و مخلوط در مدت 1 ساعت با مگنت با دور 700 rpm همزده شد (جدول 4) [14]. از این آزمایش نیز مشخص می‌شود

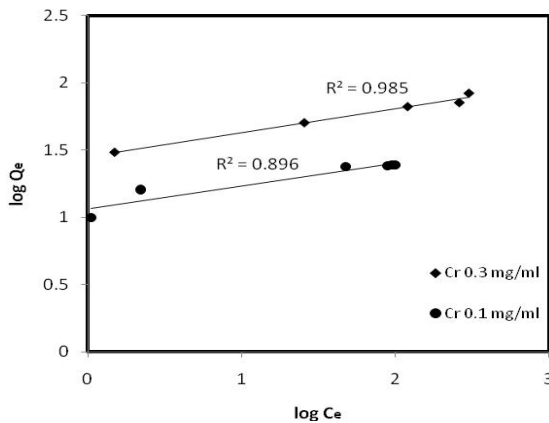
رابطه لانگمیر غیر خطی ایزوترم مطابق معادله (3) است.

$$Q_e = \frac{K_L Q_m C_e}{1 + K_L C_e} \quad (\text{non-linear form}) \quad (3)$$

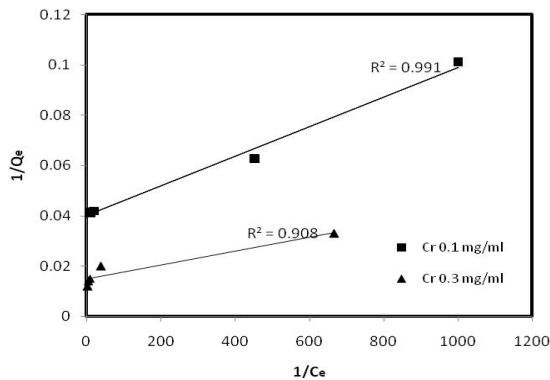
فرم خطی معادله لانگمیر مطابق با معادله (4) است.

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

Q_m بیشترین مقدار کاتیون فلزی بر واحد جرم رزین ($\text{mg/g}_{\text{resin}}$) که به روش تبادل یون، جذب می‌شود و K_L مقدار ثابت است که به نیروی بین مولکول‌ها بستگی دارد. اگر نمودار $1/C_e$ در مقابل $1/Q_e$ رسم شود، عرض از مبدا، $1/Q_m$ و شیب خط، $1/K_L Q_m$ است. ثوابت K و n به همراه ضریب همبستگی (correlation coefficient) یا R^2 برای معادلات فرندلیچ و لانگمیر در جدول 5 آمده است. ظرفیت جذب رزین Amberlite IR-120 برای کاتیون Cr به ترتیب $84/1 \text{ mg/g}_{\text{resin}}$ است. شکل‌های 5 و 6، نمودارهای خطی معادلات فرندلیچ و لانگمیر برای جداسازی کروم با مقادیر $0/1 \text{ mg/ml}$ و $0/3 \text{ mg/ml}$ را نشان می‌دهد.

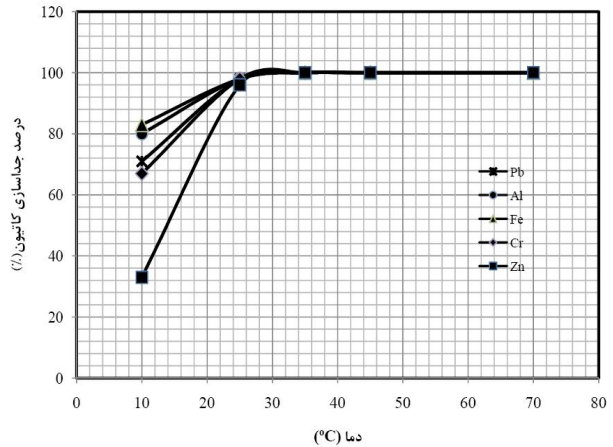


شکل 5- نمودار فرندلیچ ایزوترم برای جذب سطحی کروم توسط رزین Amberlite IR-120.



شکل 6- نمودار لانگمیر ایزوترم برای جذب سطحی کروم توسط رزین Amberlite IR-120.

ساعت، 2 ساعت و 4 ساعت اندازه‌گیری شد. این آزمایش با 10 گرم رزین خشک در 20 میلی‌لیتر از محلول پراکسید هیدروژن 35% که با یک مگنت با دور 700 rpm همزده می‌شد، در دمای محیط انجام گرفت (شکل 4) [14].



شکل 4- تأثیر زمان تماس بر میزان جداسازی کاتیون‌ها از محلول پراکسید هیدروژن.

از شکل 4 واضح است که در زمان تماس حدود 60 دقیقه، میزان جداسازی برای تمام کاتیون‌ها، در حدود 100% است. در نهایت ذکر این نکته حائز اهمیت است که بعد از انجام آزمایشات، برای بازیابی رزین و احیای مجدد آن، می‌توان از اسیدهای قوی مانند اسید سولفوریک و اسید کلریدریک استفاده کرد.

3-2- بررسی روابط تئوری

مدل‌های لانگمیر و فرندلیچ، دو مدل رایج ایزوترم هستند که در روابط تبادل یون بین دو فاز جامد و مایع مورد استفاده قرار می‌گیرند. رابطه فرندلیچ غیر خطی ایزوترم مطابق معادله (1) است [15-19].

$$Q_e = K C_e^n \quad (\text{non-linear form}) \quad (1)$$

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

$$\log Q_e = \log K + n \log C_e \quad (\text{linear form}) \quad (2)$$

C_e غلظت تعادلی فلز در محلول (mg/ml)؛ Q_e مقدار فلز جذب شده بر واحد وزن رزین ($\text{mg/g}_{\text{resin}}$)؛ K_F 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 مبدا، $\log K_F$ و شیب خط، n است.

جدول ۵- پارامترهای مدل جذب سطحی فرن‌دلیچ و لانگمیر برای جداسازی کاتیون کروم از محلول پراکسید هیدروژن.

Freundlich Isotherm			Langmuir Isotherm		غلظت کروم در پراکسید هیدروژن (mg/ml)	رزین
n	K	R ²	K	R ²		
0/168	11/6	0/896	198	0/991	0/1	Amberlite IR-120
0/178	27/99	0/985	300/3	0/908	0/3	

- [2] Lin, Q.; Jiang, Y.; Geng, J.; Qian, Y. "Removal of Organic Impurities with Activated Carbons for Ultra-Pure Hydrogen Peroxide Preparation."; Chem. Eng. J. 2008, 139, 264-271.
- [3] Kirk, O. "Encyclopedia of Chemical Technology."; 5th. Ed., J. Wiley & Sons, 2008.
- [4] Bianchi, U. P.; Leone, U.; Lucci, M. "Process for the Industrial Production of High Purity Hydrogen Peroxide."; US Patent 6,333,018, 2001.
- [5] Abd El Latif, M. "Removal of Cupric Ions from Aqueous Solution Using Amberlite IR120 Na Cation Exchange Resin in a Batch Stirred Tank Reactor."; Alexandria Eng. J. 2005, 44 (6), 927-937.
- [6] Foo, K. Y.; Hameed, B. H. "Insights into the Modeling of Adsorption Isotherm Systems."; Chem. Eng. J. 2010, 156, 2-10.
- [7] Hosseini-Bandegharai, A.; Hosseini, M. S.; Sarw-Ghadi, M.; Zowghi, S.; Hosseini, E.; Hosseini-Bandegharai, H. "Kinetics, Equilibrium and Thermodynamic Study of Cr(VI) Sorption into Toluidine Blue O-Impregnated XAD-7 Resin Beads and its Application for the Treatment of Wastewaters Containing Cr(VI)."; Chem. Eng. J. 2010, 160, 190-198.
- [8] http://www.dow.com/assets/attachments/business/ier/ier_for_industrial_water_treatment/amberlite_ir120_na/tds/amberlite_ir120_na.pdf
- [9] 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. Colloid Interf. Sci. 2005, 282, 20-25.
- [10] Watanabe, S.; Ohura, O. "Process for Preparing High Purity Hydrogen Peroxide."; US Patent 5,055,286, 1988.
- [11] Shiga, S.; Sawaguri, Y. "Purification of Hydrogen Peroxide."; US Patent 5,200,166, 1991.
- [12] Luan, G.; Gao W.; Yao P. "Removal of Metal Ions from Industrial Grade Hydrogen Peroxide Solutions by Cation Exchange Resin."; J. Ind. Eng. Chem. 2007, 13, 1047-1053.
- [13] Elliot, R. B.; Yan, P.; Young, J. H. "Purification of Hydrogen Peroxide."; US Patent 3,297,404, 1957.
- [14] Alipour, M. "Study on Effective Parameters on Removing Impurities from Commercial Aqueous Hydrogen Peroxide and

شکل‌های 5 و 6 نشان می‌دهند که معادله فرن‌دلیچ برای مقدار 0/3 mg/ml و معادله لانگمیر برای مقدار 0/1 mg/ml از کروم دقیق‌تر می‌باشد.

4- نتیجه‌گیری

به منظور حذف کاتیون‌های Al, Fe, Pb, Zn و Cr از محلول تجاری پراکسید هیدروژن 35% وزنی از رزین تبادل یون Amberlite IR120 در حالت ناپویسته استفاده شد. پارامترهای pH، دما، مقدار رزین و زمان تماس به عنوان پارامترهای مهم برای جداسازی کاتیون‌ها بررسی شدند. شرایط بهینه برای جداسازی کاتیون‌ها از محلول پراکسید هیدروژن، عبارتند از:

$$-1 \text{ pH} = 2/2$$

$$-2 \text{ دما} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

- 3- مقدار رزین = 1 گرم رزین به ازای حدود 30 ppm تا 50 ppm از کاتیون‌های دو و سه ظرفیتی
- 4- زمان تماس = 60 دقیقه

افزایش دما و pH باعث تجزیه پراکسید هیدروژن می‌شوند، لذا لزومی برای بررسی تغییرات این پارامترها وجود ندارد. مدل جذب سطحی ایزوترم فرن‌دلیچ برای مقدار 0/3 mg/ml و معادله لانگمیر برای مقدار 0/1 mg/ml از کروم دقیق‌تر می‌باشد اما در مجموع، جواب‌های بدست آمده از هر دو مدل فرن‌دلیچ و لانگمیر تقریباً قابل قبول است.

تشکر و قدردانی

حمایت‌های مالی سازمان صنایع هوافضا نقش ارزنده‌ای در انجام تحقیقات تجربی این مقاله داشت. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند تا از سازمان صنایع هوافضا تشکر و قدردانی نمایند.

مراجع

- [1] Wernimont, E. J.; Ventura, M. C. "Review of US Historical Rocket Propellants: Accidents."; General Kinetics Inc, Huntington Beach, CA, 92649, 2007.

- [17] Langmuir, I. "The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Glass, Mica And Platinum."; J. Am. Chem. Soc. 1918, 40(9), 1361–1403.
- [18] 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.
- [19] Oancea, A. M. S.; Drinkal, C.; Holl, W. H. "Evaluation of Exchange Equilibrium on Strongly Acidic Ion Exchangers with Gel-Type, Macroporous and Macronet Structure."; React. Funct. Polym. 2008, 68, 492-506.
- Optimization of them."; M. Sc. Thesis, Malek Ashtar University, Iran, 2010.
- [15] 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.
- [16] 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.