

مکانیزم استخراج پالادیوم از محلول کلریدی توسط حلال آلی کروزن-تری بوتیل فسفات (TBP)

نیما صادقی^۱، اسکندر کشاورز علمداری^{۲*}، مولود سعیدی^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مواد دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی سهند N_sadeghi@sut.ac.ir

۲- دانشیار دانشکده معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، alamdari@aut.ac.ir

۳- کارشناسی ارشد استخراج فلزات دانشکده معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، m.saeedi@aut.ac.ir

Extraction Mechanism of Palladium from chloride solution by TBP-Kerosene

N. Sadeghi¹, E. keshavarz alamdari², m. saeedi³

1-PhD. Candidate of material engineering, Departemant of material engineering, Sahand University Of Technology, E-Mail: N_sadeghi@sut.ac.ir

2-Associate professor of material engineering, Department of Mining and Metallurgical Engineering Amirkabir University Of Technology, E-Mail: alamdari@aut.ac.ir

3-MSC. Graduated of metals extraction, Department of Mining and Metallurgical Engineering Amirkabir University Of Technology, E-Mail: m.saeedi@aut.ac.ir

چکیده

در این مقاله یک تحقیق بنیادی بر روی استخراج پالادیوم بوسیله حلال آلی کروزن-تری بوتیل فسفات انجام شده است. براساس اطلاعات ترمودینامیکی در سیستم پالادیوم-کلر، کمپلکسهای کلریدی $PdCl_3^-$ در غلظت‌های ناچیز یون کلر و کمپلکسهای $PdCl_4^{2-}$ در غلظت‌های بالای یون کلر تشکیل می‌شوند. استخراج پالادیوم با افزایش غلظت اسید کلریدریک و نمک کلریدی (کلرید سدیم) کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد علت اصلی این کاهش تمایل کمتر تری بوتیل فسفات برای استخراج $PdCl_4^{2-}$ نسبت $PdCl_3^-$ است. چنانچه ۰/۲۵ مول بر لیتر تری بوتیل فسفات در غلظت‌های پایین اسید ۵۸٪ و در غلظت‌های بالای اسید ۸٪ را استخراج می‌نمایند. براساس روش آنالیز شیب ماکرومولکول استخراجی (حاوی پالادیوم و تری بوتیل فسفات) برای کمپلکس مطرح شده به صورت $HPdCl_3 \cdot H_2O \cdot TBP$ می‌باشد. در حالیکه براساس بررسی‌های انجام شده، تری بوتیل فسفات نمی‌تواند کمپلکس از محلول کلریدی $PdCl_4^{2-}$ استخراج نماید.

واژه‌های کلیدی: استخراج حلالی، مکانیزم، کمپلکسهای کلریدی پالادیوم، تری بوتیل فسفات

Abstract

In this work, a basic study for extraction of palladium (Pd) from the chloride solution by a TBP-kerosene extractant was carried out. Based on thermodynamic Data of species in the Cl-Pd system, and complexes can be stable in low and high concentration of Cl⁻, respectively. The palladium recovery decreases with the increase in concentrations of hydrochloric acid and chloride salts (NaCl) in the aqueous. The affinity of TBP for Pd extraction changes with chloride species changing. Extraction affinity is higher than as extraction percent 58% and 8% at 0.25 mol/l TBP, respectively. By the use of slope analysis method the organometallic complex of palladium and TBP, formed in the organic phase, was proposed as $HPdCl_3 \cdot H_2O \cdot TBP$ whereas $PdCl_4^{2-}$ couldn't be extracted from aqueous media.

Key words: solvent extraction, mechanism, palladium chloride complexes, tri butyl phosphate

(کد: ۹۱۱۰۶۲)

می‌باشد. این ترکیب آلی با فرمول عمومی $(CH_3CH_2CH_2CH_2O)_3PO$ با قیمت کم، انحلال ناچیزی در آب دارد. براساس گزارشهای انتشار یافته مکانیزم استخراج توسط تری‌بوتیل فسفات شامل پروتونه شدن مولکول توسط یون H^+ یا H_3O^+ بوده و پس از آن استخراج آنیونها موجود در محلول انجام می‌گیرد (Haghshenas et al., 2009). لی و همکارانش (Lee et al., 2010) از حلال تری‌بوتیل فسفات (TBP) در کروزن برای استخراج پالادیوم و جداسازی آن از پلاتین، نیکل، آهن و مس استفاده کردند. براساس این تحقیق غلظت بسیار رقیق تری‌بوتیل فسفات (TBP) (۰/۰۰۵۴ مول بر لیتر) پالادیوم را از محلول حاصل از لیچینگ کاتالیستها استخراج کردند. با توجه به نمودار مک‌کیب-تیلی ۱۵۰ میلیگرم پالادیوم در دمرحله با نسبت حجمی آلی به آبی (A/O) ۳/۷۵ استخراج می‌شود. نتایج گزارش شده قابل توجه بوده و صنایع تولید پالادیوم را به استفاده از تری‌بوتیل فسفات (TBP) برای تصفیه محلول ترغیب می‌کند. اما مشکل اصلی نامشخص بودن مکانیزم استخراج و تاثیر عوامل خارجی بر استخراج پالادیوم است.

در پژوهش حاضر استخراج پالادیوم در محلولی عاری از ناخالصی انجام شده و مکانیزم استخراج پالادیوم شناسایی شده و تاثیر غلظت اسید و نمکهای کلریدی در این سیستم بررسی خواهد شد. از نظر ترمودینامیکی کمپلکس کلریدی پایدار در محلول آبی شناسایی می‌شوند و توانایی تری‌بوتیل فسفات (TBP) برای استخراج هریک از آنها بررسی خواهد شد. به نظر می‌رسد نوع کمپلکس کلریدی تاثیر زیادی بر استخراج پالادیوم توسط تری‌بوتیل فسفات (TBP) دارد.

مواد و روش تحقیق

در این پژوهش پالادیوم بصورت نمک $PdCl_2$ محصول شرکت مرک (MERK) آلمان به محلول آبی اضافه شده است. حلال TBP استفاده شده دارای خلوص آزمایشگاهی محصول شرکت فلوکا (Fluka) می‌باشد. اسیدکلریدریک و کروزن استفاده شده در آزمایشها از تولیدکنندگان داخلی تامین شدند. اختلاط مواد توسط دستگاه همزن مکانیکی انجام شده و آنالیز نمونه‌ها برای تعیین غلظت پالادیوم توسط دستگاه جذب اتمی (AA 240) varian انجام گرفت. برای تعیین غلظت اسید در محلولها از تیترازول سود ۰/۱ mol/l محصول شرکت مرک استفاده شد.

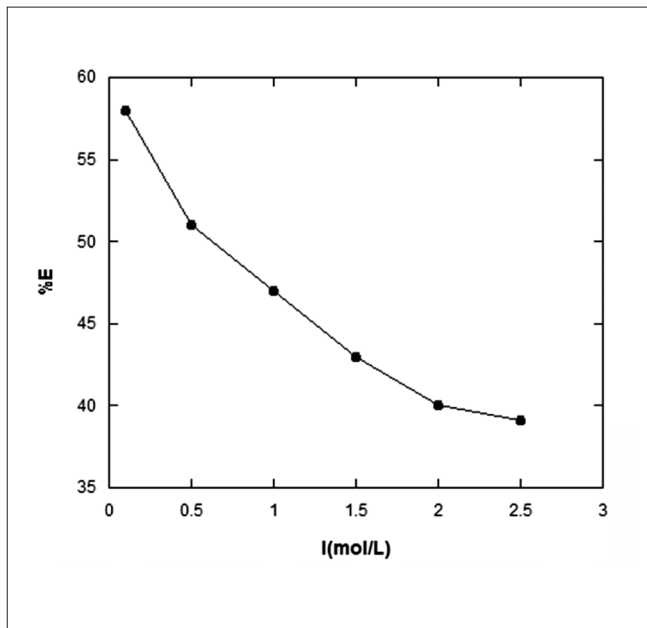
رقیق کننده کروزن قبل از انجام استخراج توسط حلال آلی، با اسید کلریدریک ۳ M آمیخته شد. با این کار کروزن شستشو شده و فازهای نامطلوبی که ممکن است در حین فرآیند شکل گیرد حذف می‌شوند. در مرحله بعد حلال آلی TBP با غلظتهای ۰/۰۵ تا ۰/۵ مول

پالادیوم یکی از فلزات کمیاب است و به رنگ نقره‌ای و سفید می‌باشد. پالادیوم از نظر شیمیایی همانند پلاتین بوده و در اکثر محیطهای شیمیایی نجیب است. از پالادیوم در ساخت کاتالیزور، بخصوص در عمل تصفیه نفت، استفاده شده‌است که سرعت هیدروژن‌گیری و هیدروژن‌زدایی را در ستون تقطیر زیاد می‌کند. این فلز در صنایع جواهرسازی و تهیه مدارهای الکترونیکی نیز به‌صورت گسترده استفاده شده‌است با اضافه کردن پالادیوم به طلا رنگ آن تغییر کرده و آلیاژی از آن به‌دست می‌آید که به طلای سفید مشهور است. پالادیوم نیز همانند طلا می‌تواند به ورقه‌های نازک تبدیل شود و در تولید کندانسورها از آن استفاده کرد. این فلز به مانند پلاتین (بصورت یک محصول جانبی) از معادن مس و نیکل بدست می‌آید. البته با افزایش مصرف پالادیم میزان قراضه این فلز گرانبها افزایش یافته است. کاتالیستهای نفتی اصلیتترین منابع برای بازیافت پالادیوم می‌باشند.

عیار فلز پالادیوم در این منابع معدنی پایین بوده و انحلال ناچیز آن در محیطهای شیمیایی مختلف فرآوری و تولید آن را با مشکلات متعددی همراه کرده‌است. در گذشته استخراج پالادیوم با حل کردن مواد دریافت شده از معدن در محلول تیزاب سلطانی^۱ و خنثی سازی محلول با اضافه کردن هیدروکسید سدیم به همراه سیانید جیوه انجام می‌شد. این عمل باعث ته‌نشین شدن آمونیوم کرات پلاتینات و شکل گیری سیانید پالادیوم از محلول می‌شود. سیستمهای سیانیدی، کلریدی، آمونیاک و ... برای انحلال پالادیوم از ماده معدنی و قراضه‌های صنعتی پیشنهاد شده‌است (Park and Fray, 2009a). اما بازیابی پالادیم توسط اسید کلریدریک در حضور یک اکسیدکننده مناسب (اسیدنیتریک، آب اکسیژنه، گاز کلر و ...) از بازده بالایی برخوردار است (Tuncuk et al, 2012).

با وجود بازده بالای حلال‌های کلریدی، انحلال ناخالصی‌ها یکی از محدودیتهای این روش شمرده می‌شود. برای تصفیه محلول جذب پالادیوم از روشهای کربن فعال (Molnár, 2011)، رزین‌های تعویض‌گر یونی (Gaita and Al Bazi, 1995) و استخراج حلالی استفاده شده‌است.

استخراج حلالی از روشهای ارزان و سریع برای تصفیه محلولی آبی است. معروفترین استخراج‌کننده‌های آلی برای پالادیوم فسفین سولفیدها (Katsutoshi and Baba, 1988)، سولفیدها (Al-Bazi et al, 1987)، فسفونیوم کلریدها (Cieszynska, 2011)، آمینها (Swain et al, 2010) و فسفات‌ها (Lee et al., 2010) می‌باشند. حلال تری‌بوتیل فسفات (TBP) از رایج‌ترین ترکیب موجود در این گروه



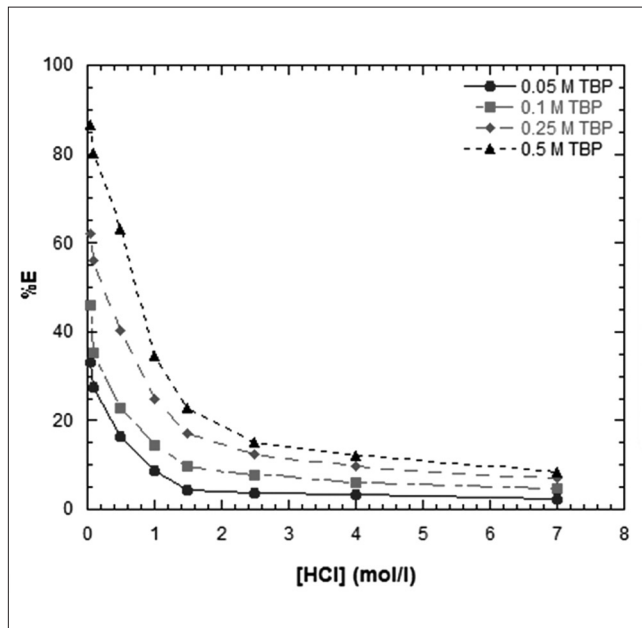
شکل ۲: تاثیر استحکام یونی محلول در ۰/۱ M HCl و ۰/۲۵ M TBP در ۱۵۰ mg/l پالادیوم

آبی انجام شد. همانطور که مشخص است افزایش غلظت اسید تاثیر مثبتی بر روند استخراج می‌گذارد. همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود، در غلظت ۰/۱ M HCl و ۰/۰۵ M TBP درصد استخراج در حدود ۳۸٪ می‌باشد که با افزایش غلظت اسید این میزان افزایش یافته و در ۰/۵ mol/l HCl به حدود ۸٪ افت می‌نماید. افزایش غلظت اسید تاثیر منفی بر استخراج پالادیوم دارد. به نظر می‌رسد در کنار افزایش غلظت یونهای کلر و هیدروژن موجب افزایش استحکام یونی محلول آبی می‌شود.

برای بررسی تاثیر استحکام یونی بر استخراج پالادیوم، نمک کلرید سدیم بر محلول اضافه شد. افزایش غلظت نمک موجب افزایش استحکام یونی محلول بر طبق رابطه (۲) می‌شود. با افزایش استحکام یونی میدان الکتریکی موجود در اطراف اجزای باردار افزایش می‌یابد. افزایش میدان موجب افزایش نیروی وارد بر ذرات باردار می‌شود. در این حالت امان تغییر کمپلکس‌های کلریدی و ظرفیت یونهای پالادیوم وجود دارد. بنابراین تاثیر تغییر استحکام یونی بر درصد استخراج پالادیوم بررسی شد و نتایج آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

$$I = \sum_{n=1}^m \frac{1}{2} (m_n z_n^2) \quad (2)$$

همانطور که در شکل ۲ مشخص است، افزایش غلظت کلرید سدیم موجب افزایش استحکام یونی می‌شود. با افزایش استحکام یونی محلول درصد استخراج پالادیوم از ۵۸٪ به ۳۸٪ کاهش یافته است. تاثیر کلرید سدیم نسبت به اسید کلریدیک بر استخراج پالادیوم



شکل ۱: تاثیر غلظت اسید کلریدیک بر درصد استخراج پالادیوم در غلظتهای متفاوت تری بوتیل فسفات

بر لیتر تهیه شده و با محلول کلریدی با غلظت ۱۶۰ mg/l پالادیوم و غلظت اسید ۰/۰۵-۷ mol/l آمیخته شد. در این بررسی حجم‌های مساوی از محلول‌های آبی و آلی (۲۰ cc) به مدت ۳۰ دقیقه و در دمای محیط توسط یک دستگاه همزن مکانیکی همزده شدند تا به تعادل برسند. جدایش دو فاز توسط قیف دکانتور انجام شد و پس از جدایش برای تعیین درصد استخراج و ضریب توزیع یون فلزی در فاز آبی و فاز آلی، غلظت محلول‌های آبی توسط دستگاه جذب اتمی آنالیز شد و غلظت پالادیوم در فاز آلی توسط موازنه جرم از فاز آبی قبل و بعد از استخراج بدست آمد.

نتایج و بحث

تاثیر غلظت اسید بر استخراج پالادیوم

درصد استخراج معیار مناسبی برای تعیین کارایی فرآیند است. این میزان بر طبق رابطه (۱) در واکنش‌های استخراج حلالی تعیین می‌گردد و برابر میزان پالادیوم استخراج شده از فاز آبی بر کل پالادیوم موجود در سیستم استخراج است.

$$\%E = \frac{[Pd]_{org}}{[Pd]_{aq}} \times 100 \quad (1)$$

برای تعیین تاثیر اسید بر روند استخراج پالادیوم آزمایشات در غلظتهای مختلف اسید و در غلظت ثابتی از حلال آلی تری بوتیل فسفات بررسی گردید. همانطور که در شکل ۱ مشخص گردید است، این تست در چهار غلظت متفاوت از حلال آلی و در غلظتهای مختلف اسید کلریدیک با غلظت اولیه ۱۵۰ mg/l پالادیوم در فاز

کمتر است اما نتایج شکل ۲ را می‌توان به تغییر کمپلکس کلریدی پالادیوم در اثر افزایش استحکام یونی محلول نسبت داد. بنابراین باید پایداری آنیونهای پالادیوم را در شرایط آزمایش بررسی شود.

بررسی پایداری کمپلکسهای کلریدی پالادیوم

برای تعیین کمپلکسهای فلزی در محلول آبی روشهای آنالیز مختلفی پیشنهاد شده است. روشهایی همچون طیف سنج نوری، FTIR و ... برای تعیین کمپلکس فلزی استفاده شده‌اند. براساس بررسی‌های بویلی و اسوارد (۲۰۰۵)، تاثیر اسید کلریدریک تاثیر محسوسی بر تغییر کمپلکسهای پالادیوم درد. براساس مشاهدات از این گروه از نتایج جذب در ماورا بنفش/نور مرئی طول موج تشکیل $PdCl_3^-$ در منطقه ماورا بنفش برابر ۲۱۰ و ۲۴۰ نانومتر بود. در حالیکه با افزایش غلظت اسید کلریدریک، $PdCl_4^{2-}$ تشکیل شده و پیک جذب به ۲۲۰ و ۲۸۰ نانومتر انتقال می‌یابد.

روش دیگری که توسط آن حضور کمپلکسهای یونی را می‌توان پیش‌بینی نمود استفاده از اطلاعات و معادلات ترمودینامیکی استفاده نمود. تبدیل کمپلکسهای کلریدی پالادیوم ($PdCl_3^- \rightarrow PdCl_4^{2-} \rightarrow PdCl_6^{4-}$) یک استحالته هم‌فاز است. در استحالتهای هم‌فاز معمولاً قوانین ترمودینامیک حکمفرما بوده و عوامل سینتیکی تاثیر ناچیزی بر سیستم دارند. بنابراین پیش‌بینی‌های ترمودینامیکی در تعیین کمپلکسهای فلزی در محلول قابل اطمینان هستند (Polotnyanko, 2013). دیاگرامهای پوربه یکی از ابزار مفید برای تعیین فازهای پایدار براساس داده‌های ترمودینامیکی می‌باشند.

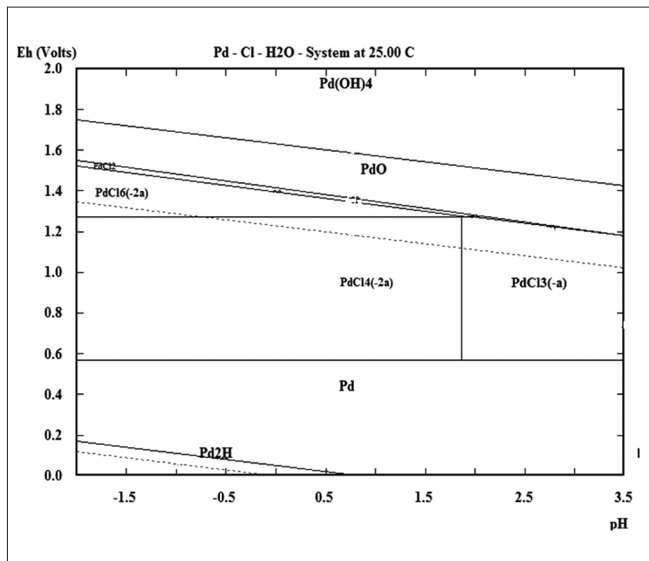
در پژوهش حاضر دیاگرام پوربه پالادیوم-کلر در محلولهای اسیدی و غلظت ۱۵۰ mg/l پالادیوم رسم شده است (شکل ۳). همانطور که دیده می‌شود، پالادیوم در پتانسیل‌های کم پایدار می‌باشد. با افزایش پتانسیل کمپلکس آنیونی $PdCl_3^-$ در pH بالاتر از ۱/۸ پایدار شده و با افزایش غلظت اسید کلریدریک کمپلکسهای $PdCl_4^{2-}$ پایدار خواهد شد.

نتایج اندازه‌گیری پتانسیل محلولهای آبی با غلظتهای مختلف کلر نشان داد. با افزایش غلظت کلر از ۱ mol/l به ۷ mol/l پتانسیل محلول از ۰/۵۵ V به ۰/۷۷ V افزایش یافته است. همچنین در این شرایط pH محلول آبی ۲/۷۳ به حدود ۰/۳۴ کاهش یافته است. بنابراین از دیدگاه ترمودینامیکی نیز در غلظتها پایین اسید کلریدریک، کمپلکس $PdCl_3^-$ و در غلظتهای بالاتر کمپلکسهای $PdCl_4^{2-}$ پایدار هستند.

تاثیر تری بوتیل فسفات (TBP) بر استخراج پالادیوم

حلال آلی یکی از مهمترین عوامل استخراج پالادیوم از فاز آبی

2-spectrophotometry



شکل ۳: دیاگرام پوربه برای سیستم Pd-Cl-H₂O در 150 mg/l پالادیوم و 1 mol/l اسید کلریدریک

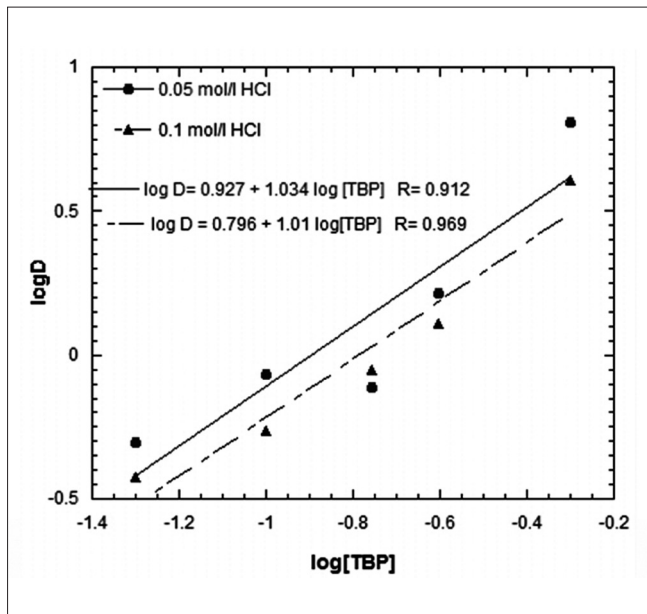
است. در شکل ۴ تاثیر غلظت حلال بر استخراج پالادیوم نشان داده شده است. همانطور که انتظار می‌رفت، با افزایش غلظت حلال، راندمان استخراج پالادیوم تاثیر محسوسی یافته است. بنابراین برای ارائه واکنش استخراج، تری بوتیل فسفات را به عنوان واکنش گر اصلی برای جذب کمپلکس کلرید پالادیوم در نظر گرفته خواهد شد. نکته جالب در نمودار شکل ۴ نحوه تغییرات درصد استخراج پالادیوم با افزایش غلظت اسید است. در این نمودار زمانیکه غلظت اسید کلریدریک نسبتاً پایین است (۰/۵ مولار)، درصد استخراج پالادیوم به صورت صعودی با افزایش غلظت تری بوتیل فسفات افزایش می‌یابد. اما با افزایش اسید کلریدریک به محلول آهنگ افزایش درصد استخراج (شیب نمودار) کاهش می‌یابد. این رخداد را می‌توان به تغییر کمپلکس پالادیوم با تغییر غلظت اسید نسبت داد. به نظر می‌رسد در این حالت استخراج کننده آلی تمایلی برای جذب کمپلکس کلریدی جدید ندارد و بازده استخراج پالادیوم کاهش می‌یابد.

تعیین مکانیزم استخراج پالادیوم

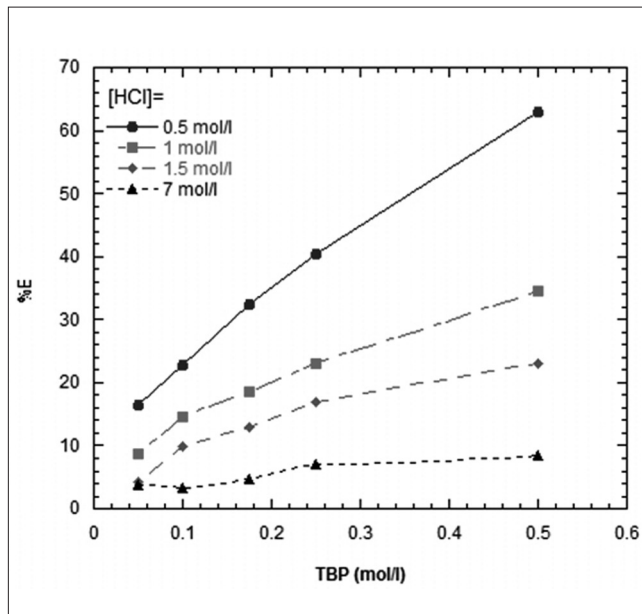
همانطور که در شکل ۱ نیز نشان داده شده است افزایش غلظت آلی تاثیر مطلوبی بر استخراج داشته و میزان آن را افزایش می‌دهد. ضریب توزیع به نسبت غلظت پالادیوم در فاز آلی به غلظت پالادیوم در فاز آبی گفته می‌شود و بصورت رابطه ۲ تعریف می‌گردد:

$$D = \frac{[PdCl_n^m]_{org}}{[PdCl_n^m]_{aq}} \quad (2)$$

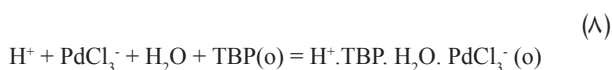
همچنین، بر اساس بررسی صورت گرفته واکنش استخراج پالادیوم از محلول کلریدی بصورت واکنش ۴ انجام می‌گیرد. در



شکل ۵: log D بر حسب log [TBP] در غلظت‌های متفاوت



شکل ۴: تاثیر غلظت حلال بر درصد استخراج ۱۵۰ mg/l پالادیوم در غلظت‌های متفاوت اسید کلریدریک



نتیجه‌گیری

۱- حلال آلی تری‌بوتیل فسفات TBP از محلول کلریدی، می‌تواند پالادیوم را استخراج نماید. اما درصد استخراج پالادیوم به نوع کمپلکس کلریدی تشکیل شده وابسته است.

۲- افزایش غلظت اسید کلریدریک محلول باعث کاهش درصد استخراج پالادیوم می‌شود.

۳- حضور نمک‌های کلریدی در محلول تاثیر منفی بر استخراج پالادیوم دارند که به نظر می‌رسد ناشی از تغییر استحکام یونی محلول آبی باشد.

۴- با افزایش غلظت یون کلر بترتیب کمپلکس‌های $PdCl_3^-$ ، $PdCl_4^{2-}$ و $PdCl_6^{4-}$ در محلول آبی پایدار می‌شوند. اما به علت آنکه در سیستم حاضر اکسیدکننده قوی (مانند پرکلرات) وجود ندارد، تشکیل دو گونه $PdCl_3^-$ و $PdCl_4^{2-}$ محتمل‌تر است.

۵- افزایش غلظت حلال آلی TBP - در غلظت‌های پایین اسیدکلرید- درصد استخراج پالادیوم افزایش می‌یابد. اما با افزایش غلظت اسید، از تمایل TBP برای استخراج پالادیوم کاسته می‌شود که به نظر می‌رسد تمایلی برای استخراج وجود ندارد. اما در غلظت پایین اسیدکلریدریک به ازای استخراج هر یون پالادیوم یک مولکول TBP به همراه یک پروتون (H^+) کمپلکس آلی را تشکیل خواهند داد.

این سیستم تری‌بوتیل فسفات TBP ضمن جذب کمپلکس کلریدی پالادیوم هیدروژن و آب را نیز جذب می‌نماید.



واکنش بالا واکنشی تعادلی بوده و ثابت تعادل برای این واکنش بصورت رابطه ۵ تعریف می‌گردد.

$$K = \frac{[HPdCl_n^m \cdot nTBP \cdot H_2O]_{org}}{[H^+][PdCl_n^m][TBP]^n a_{H_2O}} \quad (5)$$

در رابطه ۵ ثابت تعادل با توجه به رابطه موجود برای ضریب توزیع به صورت رابطه ۶ بازنویسی می‌شود.

$$k = \frac{D}{[H^+][TBP]^n a_{H_2O}} \quad (6)$$

که با لگاریتم‌گیری از معادله می‌توان بصورت رابطه زیر

بازنویسی نمود:

$$\log K = \log D - \log [H^+] - \log [H_2O] - n \log [TBP] \quad (7)$$

با فرض ثابت بودن pH و در نظر گرفتن اکتیویته آب خالص در محلول، با رسم نمودار log D بر حسب log [TBP] و اندازه‌گیری شیب نمودار عدد n را می‌توان بدست آورد. بر همین اساس نموداری در غلظت‌های مختلف اسید (0.1, 2.5 M HCl) رسم می‌شود. همانگونه که در شکل ۵ مشخص است، شیب نمودار در غلظت پایین اسید کلریدریک (0.1 M) برابر با ۱/۰۱ می‌باشد. بنابراین عدد استخراج در غلظت‌های پایین اسید کلریدریک ۱ و در غلظت‌های بالا ۵ امکان تعریف یک رابطه منطقی برای استخراج پالادیوم وجود نداشت. بنابراین کمپلکس $PdCl_4^{2-}$ نمی‌تواند توسط تری‌بوتیل فسفات استخراج شود.

- B. R. (2010). Solvent extraction separation and recovery of palladium and platinum from chloride leach liquors of spent automobile catalyst. *Separation and Purification Technology*, 73(2), 213-218.
- 6-Molnar, A. (2011). Efficient, selective, and recyclable palladium catalysts in carbon-carbon coupling reactions. *Chemical reviews*, 111(3), 2251-2320.
- 7-Park, Y. J., & Fray, D. J. (2009). Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards. *Journal of Hazardous Materials*, 164(2), 1152-1158.
- 8-Polotnyanko, N. A., & Khodakovskii, I. L. (2013). Thermodynamic properties of compounds in the PdO-H₂O system at 25° C. *Geochemistry International*, 51(11), 912-919.
- 9-Gaita, R., & Al-Bazi, S. J. (1995). An ion-exchange method for selective separation of palladium, platinum and rhodium from solutions obtained by leaching automotive catalytic converters. *Talanta*, 42(2), 249-255.
- 10-Swain, B., Jeong, J., Kim, S. K., & Lee, J. C. (2010). Separation of platinum and palladium from chloride solution by solvent extraction using Alamine 300. *Hydrometallurgy*, 104(1), 1-7.
- 11-Tuncuk, A., Stazi, V., Akcil, A., Yazici, E. Y., & Deveci, H. (2012). Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: hydrometallurgy in recycling. *Minerals Engineering*, 25(1), 28-37.
- 1-Al-Bazi, S. J., & Preiser, H. (1987). MECHANISTIC STUDIES ON THE EXTRACTION OF PALLADIUM (II) WITH DIOCTYL SULFIDE. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, 5(2), 265-275.
- Baba, Y., & Inoue, K. (1988). The kinetics of solvent extraction of palladium (II) from acidic chloride media with sulfur-containing extractants. *Industrial & engineering chemistry research*, 27(9), 1613-1620.
- 2-Boily, J. F., & Seward, T. M. (2005). Palladium (II) chloride complexation: Spectrophotometric investigation in aqueous solutions from 5 to 125 C and theoretical insight into Pd-Cl and Pd-OH₂ interactions. *Geochimica et cosmochimica acta*, 69(15), 3773-3789.
- 3-Cieszynska, A., & Wisniewski, M. (2010). Extraction of palladium (II) from chloride solutions with Cyphos® IL 101/toluene mixtures as novel extractant. *Separation and Purification Technology*, 73(2), 202-207.
- 4-Fatmehsari, D. H., Darvishi, D., Etemadi, S., Hollagh, A. E., Alamdari, E. K., & Salardini, A. A. (2009). Interaction between TBP and D2EHPA during Zn, Cd, Mn, Cu, Co and Ni solvent extraction: A thermodynamic and empirical approach. *Hydrometallurgy*, 98(1), 143-147.
- 5-Lee, J. Y., Raju, B., Kumar, B. N., Kumar, J. R., Park, H. K., & Reddy,