

## استخراج مایع - مایع مولیبدن (VI) از محیط‌های اسیدی به وسیله سیانکس ۳۰۱

کمال صابریان، محمد قنادی مراغه، پرویز اشتری  
آزمایشگاه‌های تحقیقاتی جابربن حیان، سازمان انرژی اتمی ایران  
هاشم نجات: دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران

### چکیده

استخراج مولیبدن (VI) از محیط‌های اسیدی با استفاده از سیستم سیانکس (۳۰۱) - کروزن صورت گرفت. اثر پارامترهای مختلف از جمله مدت تکان دادن، نوع رقیق‌کننده غلظت استخراج‌کننده، نوع و غلظت اسید، دما، حضور آنیون‌های  $Cl^-$ ،  $NO_3^-$ ،  $SO_4^{2-}$  مورد بررسی قرار گرفت و نمودار همدمای (ایزوترم) استخراج مولیبدن (VI) رسم شد. براساس نتایج بدست آمده می‌توان این استخراج را در محدوده وسیعی از مولاریته اسیدی و بازدهی بالا انجام داد. همچنین مشخص شد که استخراج در محیط اسید سولفوریک یک واکنش گرماگیر است و در این محیط دارای ظرفیت پرکنندگی پایین در مقایسه با محیط اسید کلریدریکی می‌باشد.  
واژه‌های کلیدی: استخراج مایع - مایع مولیبدن (VI)، سیانکس ۳۰۱، اسید سولفوریک

## Liquid - liquid extraction of molybdenum (VI) from Acidic media with cyanex-301

K.Saberyan, M. Ghannadi, P. Ashtari

Jaber Ibn Hayan Research Laboratories, AEOI, P.O. Box: 14155-1339, Tehran-Iran

H. Nejat: Chemistry Department, Faculty of Science, University of Tehran, Tehran-Iran

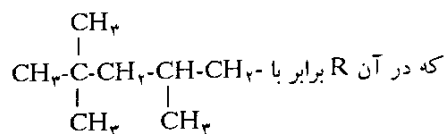
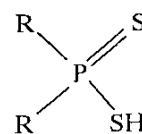
E-mail: Saberyan@Seai.neda.net.ir

### Abstract

The extraction of Mo (VI) from acidic media using Cyanex-301 & Kerosene system was studied. The effects of various parameters such as shaking time, type of diluent, extractant concentration, type and concentration of acid, presence of anions such as  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ , and  $SO_4^{2-}$ , and temperature were investigated. The extraction isotherm of Mo (VI) was also drawn. Based on the results obtained, the extraction can be carried out with high efficiency and in wide range of acidic molarities. The extraction in sulfuric acid media was found to be an endothermic reaction with lower loading capacity in sulfuric acid compared to those reported in hydrochloric acid media.

## ۱- مقدمه

مولیبدن در صنعت و پزشکی یکی از عناصر مهم به شمار می‌رود [۱ و ۲] و عنصری لازم برای بدن انسان و گیاهان [۳] است. این رادیونوکلید در پرتو پزشکی یکی از نیازهای مهم کشور است، بنابراین فرآیندهای استخراج و تخلیص آن ضروری است یکی از روشهای جداسازی مولیبدن-۹۹ استخراج آن به وسیله حلال است. تاکنون تحقیقات زیادی درباره استخراج مولیبدن از محیط‌های مائی شامل اسید سولفوریک [۱۰-۴]، اسید هیدروکلریک [۱۴-۱۱] و اسید نیتریک [۱۸-۱۵] با استخراج کننده‌های مختلف از جمله کراون اترها [۱۹]،  $\alpha$ -بنزوین اکسیم [۲۱-۲۰]، ارگانوفسفات‌ها یا اسیدهای ارگانوفسفریک [۸، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۲۲] به ویژه دی-۲-اتیل هگزیل فسفوریک اسید (D2EHPA) صورت گرفته است [۹ و ۱۵]. اخیراً بعضی از ارگانوفسفین‌ها و مشتقات سولفور آنها، به سبب مقاومت قابل توجه در برابر تجزیه به روش آبکافت در مقایسه با مشتقات فسفردارشان، به عنوان استخراج کننده مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲۳]. پایداری پرتو کافتی سیانکس ۳۰۱ (یکی از ارگانودی‌تیوفسین‌ها) و نمونه خالص شده آن، به توسط چن و همکارانش مورد بررسی قرار گرفت [۲۴]. ساختار مولکولی سیانکس ۳۰۱ چنین است:



که در آن R برابر با -CH<sub>2</sub>-CH(CH<sub>3</sub>)-CH<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub> است.

استخراج مولیبدن (VI) از محیط‌های اسیدی مائی به وسیله سیانکس ۳۰۱ گزارش شده است [۲۵ و ۲۶ و ۲۷]، اما تحقیقات بیشتری را ایجاب می‌کند. تفصیل جزئیات درباره اثر دما، نوع رقیق‌کننده، غلظت‌های  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{NO}_3^-$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$  و نمودار همدمای استخراج در محیط‌های اسید سولفوریک برای استخراج

مولیبدن (VI) در منابع علمی عرضه نشده است؛ مقالات متعددی هم درباره استخراج آن به وسیله «سیانکس ۳۰۱» وجود ندارد. در این کار پژوهشی، اثر دما بر واکنش استخراج بررسی و مشخص شد که این واکنش گرماگیر است. از طرف دیگر، نمودار همدمای استخراج نشان می‌دهد که عامل استخراج‌کننده در محیط اسید سولفوریک، حداکثر می‌تواند یون فلزی را تا یکدم غلظت مولی‌اش در خود نگه دارد، در حالیکه در محیط اسیدکلریدریک این عامل می‌تواند یون فلزی را تا یکدم غلظت مولی‌اش در خود نگه دارد [۲۵]. بررسی‌های ما در محیط‌های اسیدی رقیق و در غلظت‌های بالای مولیبدن (VI) به سبب شیمی پیچیده مولیبدن هنوز در حال انجام است.

## ۲- روش کار

## ۲-۱- مواد و معرف‌ها

تمام مواد شیمیایی در این کار پژوهشی دارای درجه خلوص تجزیه‌ای بوده و از شرکت مرک خریداری شده‌اند. نمونه مولیبدن مورد استفاده  $2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Na}_2\text{MoO}_4$  بود؛ کروزن و نمونه «سیانکس ۳۰۱» که شامل ۸۵٪ از «دی ۲، ۲، ۴-تری‌متیل‌پنتیل» «دی‌تیوفسینیک اسید» بود از شرکت فلوکا تهیه شد. در کل جریان این کار، غلظت‌های سیانکس ۳۰۱ همان غلظت جزء اصلی آن بودند.

## ۲-۲- روش آزمایش

آزمایش‌های ناپیوسته در ظرف جداکننده که شامل حجم‌های مساوی فازهای آبی و آلی (۱۰ ml) بود انجام گرفتند. مخلوط مورد آزمایش در دمای ثابت (۲۵ °C) به وسیله یک تکان‌دهنده مکانیکی با ۳۰۰ دور در دقیقه چرخانده شد. تغییرات دما در آزمایشها  $1^\circ\text{C} / \pm 0$  بود و تنها در مدت انجام آزمایش تکان دادن، میزان انحراف دما  $2^\circ\text{C} \pm$  بود. پس از جدا کردن دو فاز، مولیبدن در فاز مائی توسط دستگاه ICP-AES<sup>(۱)</sup> اندازه‌گیری شد و ترکیب شیمیایی فاز آلی به کمک محاسبات موازنه جرم تعیین شد.

۱- inductively coupled plasma - atomic emission spectrometry



### ۳- نتایج و بحث

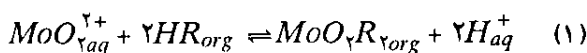
#### ۳-۱- اثر مدت تکان دادن

می‌دهد و بیشترین بازدهی استخراج به کروزن و بعد به تولون تعلق دارد. چنین به نظر می‌رسد که سازوکار استخراج در کروزن و تولون شبیه یکدیگر است و چون کروزن از تولون ارزان‌تر است ما آن را به عنوان رقیق‌کننده انتخاب کرده‌ایم.

اثر مدت تکان دادن بر استخراج مولیبدن (VI) ( $1 \times 10^{-4} M$ ) در جدول ۱ نشان داده شده است. داده‌های جدول نشان می‌دهند که تعادل در محیط  $2M H_2SO_4$  تقریباً پس از گذشت پنج دقیقه بدست می‌آید، اما برای اطمینان از حصول تعادل، زمان تکان دادن ۲۰ دقیقه انتخاب شده است.

#### ۳-۳- اثر غلظت استخراج‌کننده

در غلظت اسیدی بالا ( $2M > H_2SO_4$ ) یون پایدار مولیبدن به صورت  $MoO_4^{2+}$  است [۲۲]؛ چون سیانکس ۳۰۱ مبدله‌کننده کاتیونی است، واکنش استخراج در محیط ( $1 \times 10^{-4} M \times 2$ )  $H_2SO_4$  را می‌توان به صورت زیر نوشت:



اثر غلظت «سیانکس ۳۰۱» ( $10^{-3} - 10^{-1} M$ ) بر استخراج مولیبدن (VI) از محلول ( $2 \times 10^{-4} M H_2SO_4$ ) در نمودار شکل ۱ نشان داده شده است. این نمودار لگاریتمی - لگاریتمی خط راستی است با شیب تقریباً ۲ که معرف مشارکت دو مولکول استخراج‌کننده در تشکیل کمپلکس فلزی است. این نتیجه سازوکار عمل را تأیید می‌کند. چنین فرض می‌شود که به علت احتمال کم تجمع ناشی از پیوند هیدروژنی، لیگاند در فاز آلی به صورت تک‌پار (مونومر) وجود دارد.

#### ۳-۴- اثر نوع اسید و غلظت آن

با تغییر فاز مائی از اسیدسولفوریک به هیدروکلریک یا نیتریک، رفتار استخراجی مولیبدن (VI) به وسیله سیانکس ۳۰۱ ( $0.42M$ ) تقریباً ثابت باقی می‌ماند. نتایج بازدهی استخراج بر حسب مولاریته اسید در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به واکنش (۱)، ارتباط ضریب استخراج (D) و ثابت استخراج ( $K_{ex}$ ) به وسیله رابطه  $D = K_{ex} \frac{[HR]_{org}^2}{a_{H^+}^2}$  مشخص می‌شود. این رابطه نشان می‌دهد که هنگامی  $a_{H^+}$  (فعالیت یون هیدروژن) افزایش می‌یابد، ضریب استخراج و در نتیجه بازده استخراج باید کاسته شود. در صورتی که کاهش چشم‌گیری در شکل ۲ مشاهده

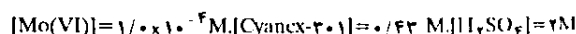
#### ۳-۲- اثر رقیق‌کننده

استخراج مولیبدن (VI) ( $1 \times 10^{-4} M$ ) به وسیله سیانکس ۳۰۱ ( $0.1M$ ) با استفاده از حلالهای مختلف از جمله کروزن، تولون، n-هپتان و دودکان بررسی شده و نتایج بدست آمده در جدول ۲ عرضه شده است. این جدول نشان می‌دهد که در میان حلال‌های مورد استفاده، بنزن کمترین بازده استخراج را نشان

جدول ۱- مقادیر بازده استخراج در مدت‌های تکان دادن مختلف

مقدار درصد بازده (%E)	زمان به هم زدن (دقیقه)
۹۹/۴	۱
۹۹/۷	۳
۹۹/۹۹	۵
۹۹/۹۹	۱۰
۹۹/۹۹	۱۵
۹۹/۹۹	۲۰
۹۹/۹۹	۵۰

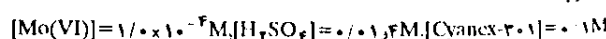
شرایط:

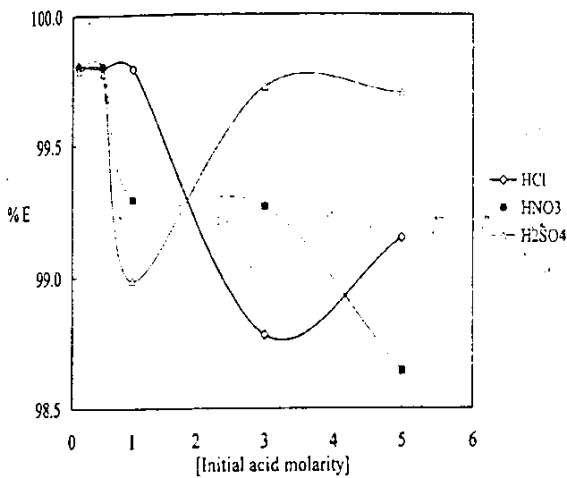


جدول ۲- اثر نوع رقیق‌کننده بر بازده استخراج

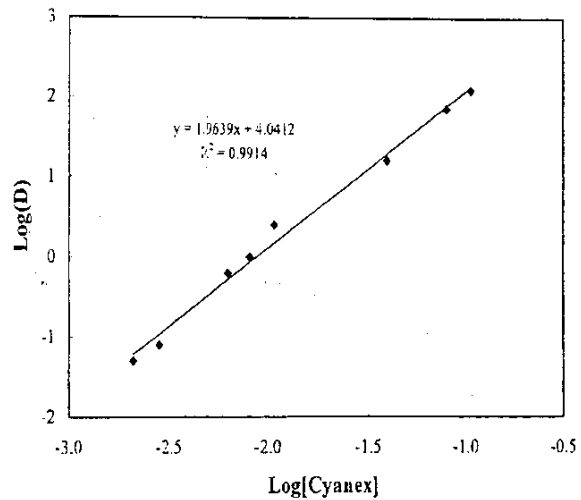
نوع رقیق‌کننده	درصد بازدهی	
	۴M	۰.۱M
کروزن	۹۹/۰	۹۷/۰
بنزن	۷۶/۲	۷۶/۶
تولون	۹۷/۰	۱۰۰/۰
هپتان	۹۲/۸	۹۳/۰
دودکان	۹۵/۳	۸۲/۱

شرایط:





شکل ۲- اثر غلظت اسید بر استخراج مولبدن در سیانکس ۳۰۱ ۰/۴M



شکل ۱- اثر غلظت سیانکس ۳۰۱ بر استخراج مولبدن (VI) از محیط اسید سولفوریک

شرایط:  $[Mo(VI)] = 1.0 \times 10^{-4} M$ ,  $[H_2SO_4] = 1.0 \times 10^{-4} M$

۳-۵- اثر غلظت یونهای  $SO_4^{2-}$  و  $NO_3^-$ ،  $Cl^-$

برای بررسی اثر یونهای  $Cl^-$ ،  $NO_3^-$  و  $SO_4^{2-}$  در محدوده ۱M-۰/۱ دو رشته آزمایش صورت گرفت. در نخستین آزمایشها اثرهای  $Cl^-$  در محیط ۱M HCl،  $NO_3^-$  در محیط ۱M  $HNO_3$  و  $SO_4^{2-}$  در محیط ۱M  $H_2SO_4$  بررسی و مشخص شد که در این محیطها هیچ یک از این یونها اثری بر واکنش استخراج ندارند و بازده استخراج برای هر سه یون عدد ثابت ۹۹/۷۵٪ است. آزمایشهای دوم در غیاب اسیدها انجام گرفت و دیده شد که یون  $SO_4^{2-}$  هیچ اثری بر بازده استخراج ندارد. بنابراین، یون  $SO_4^{2-}$  در شرایط مورد بررسی هیچ کمپلکسی با مولبدن (VI) تشکیل نمیدهد.

با افزایش غلظت یون  $Cl^-$  افزایشی در بازده استخراج مشاهده می‌شود، اما در مورد یون  $NO_3^-$ ، افزایش غلظت آن تا ۱M/۰ اثر مثبت و در غلظت‌های بالاتر اثر منفی بر بازده استخراج دارد. بنابراین مولبدن (VI) کمپلکس‌هایی با  $Cl^-$  و  $NO_3^-$  تشکیل می‌دهد و نتایج دومین رشته آزمایشها در شکل ۳ نمایش داده شده است.

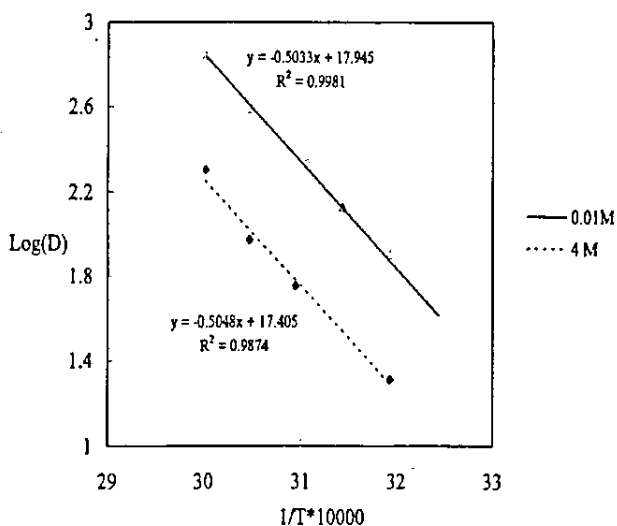
۳-۶- بررسی اثر دما

اثر دما بر استخراج مولبدن (VI) ( $1.0 \times 10^{-4} M$ )، با تغییر دما بین  $25^\circ C$  و  $40^\circ C$  در غلظت ثابت سیانکس (۰/۱M)

نمی‌شود و دلایل بر این است که بازده استخراج در محدوده وسیعی از مولاریته اسیدی بالا است. بنابراین نتیجه می‌گیریم که ثابت استخراج  $K_{ex}$  در این واکنش بزرگ است. البته افزایش ناچیز بازده استخراج برای HCl و  $H_2SO_4$  ممکن است مربوط به کمپلکس‌های مولبدن با  $Cl^-$  و  $SO_4^{2-}$  باشد. علاوه بر این سیانکس ۳۰۱ یک استخراج کننده اسیدی است و فرض می‌شود که فلزات را در اثر جداتدن پروتون، هنگامیکه غلظت یون هیدروژن کم است، استخراج می‌کند. با وجود این، در شرایطی که غلظت یون هیدروژن زیاد بوده و تفکیک نمی‌تواند صورت پذیرد، استخراج کمی انجام می‌گیرد. در چنین شرایطی معادله (۱) نمی‌تواند صادق باشد، بنابراین، نتیجه می‌گیریم که اتم گوگرد غیر یونی با مولبدن به جای لیگاند آنیونی کمپلکس تشکیل می‌دهد. استخراج مقادیر کمی پالادیوم (II) [۲۸]، مس (II) [۲۹، ۳۰ و ۳۱] و ایندیوم (III) [۳۲] به وسیله سیانکس ۳۰۱ گزارش شده است. Saily و همکارانش [۲۵] مولبدن (VI) را در محیط اسید کاربرد ریکی استخراج کرده‌اند. نتایج کار ما توافق خوبی با نتایج آن دارد. Behera و همکارانش [۲۶] و [۲۷] مولبدن (VI) را در محیط‌های HCl و  $H_2SO_4$  با بازدهی بین ۶۰ تا ۹۰ درصد استخراج کرده‌اند.



غلظت‌های مولیدین بیشتر از  $5 \times 10^{-3} M$ ، رسوب‌هایی در فاز مائی مشاهده شد، بنابراین این نمونه‌ها آنالیز نشدند؛ از نمودار نتیجه می‌شود که عامل استخراج می‌تواند یون فلزی را تا حدود یک‌صدم غلظت مولی‌اش در خود نگه دارد. نتایج پرشدگی را Saily و همکارانش [۲۵] برای استخراج مولیدین (VI) و Singh و همکارانش [۳۴] برای استخراج نیکل (II) به وسیله سیانکس ۳۰۱ عرضه کرده‌اند. ظرفیت پرشدگی سیانکس ۳۰۱ که توسط سیلی و همکارانش در محیط اسید هیدروکلریدریکی عرضه شده است ده مرتبه از نتیجه کار ما بزرگتر است. در این آزمایش، فازهای مائی و آلی بعضی نمونه‌ها رنگی شد که نشان‌دهنده تشکیل کمپلکس‌های رنگی مولیدین است و نتایج حاصل در جدول ۳ و طیف UV-Vis فاز آلی در شکل ۶ نشان داده شده‌اند.



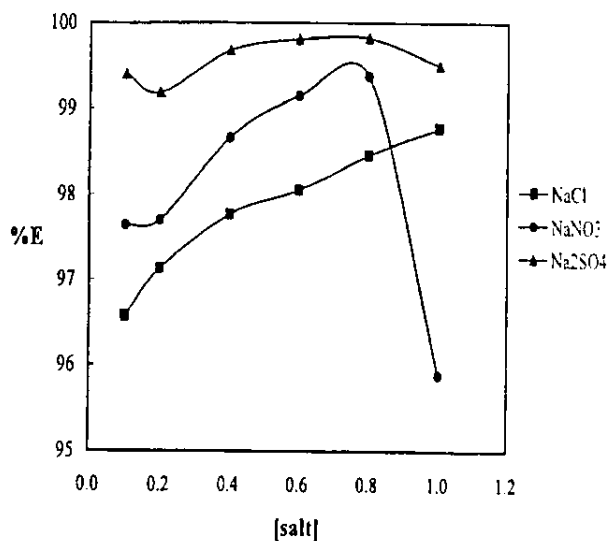
شکل ۴- اثر دما بر استخراج مولیدین (VI) با سیانکس ۳۰۱

فاز مائی:  $[Mo(VI)] = 1/0 \times 10^{-4} M$ ،  $[H_2SO_4] = 0/01$  و  $4M$

فاز آلی:  $[Cyanex-301] = 0/1 M$

جدول ۳- رنگ فازهای مائی و آلی فرآیندهای استخراج مولیدین (VI)

شماره نمونه	غلظت اولیه (Mo) (مول)	رنگ فاز مائی	رنگ فاز آلی
۱	$5 \times 10^{-4}$	بیرنگ	بنفش کم‌رنگ تراز نمونه ۲
۲	$10^{-3}$	بیرنگ	بنفش کم‌رنگ تراز نمونه ۳
۳	$5 \times 10^{-3}$	آبی‌مات (کم‌رنگ)	بنفش



شکل ۳- اثر غلظت نمک (M) بر استخراج مولیدین (VI) به وسیله سیانکس ۳۰۱

فاز مائی:  $[Mo(VI)] = 0/1 \times 10^{-4} M$

فاز آلی:  $[Cyanex-301] = 0/1 M$

و در دو غلظت مختلف اسید سولفوریک ( $4M$  و  $0/01M$ ) بررسی شده است. شکل ۴ نشان می‌دهد که  $\log(D)$  با کاهش دما کاهش می‌یابد. مقادیر ضریب زاویه برای غلظت‌های اسید سولفوریک  $0/01M$  و  $4M$  به ترتیب  $0/5033$  و  $0/5048$  هستند. بنابراین آنالیزی در شرایط استاندارد واکنش استخراج  $42 \frac{kJ}{mol}$  است و استخراج مولیدین از محیط اسید سولفوریک با سیانکس ۳۰۱ یک واکنش گرماگیر بوده و بهتر است واکنش در دماهای بالاتر انجام شود. به عنوان مقایسه، واکنش مولیدین (VI) با  $[22] TBP$  و  $[9] D2EHPA$  و استخراج  $Am(III)$  و  $Eu(III)$  با سیانکس ۳۰۱ [۳۳] همه واکنش‌های گرمازا هستند.

### ۳-۷- بررسی نمودار همدمای استخراج

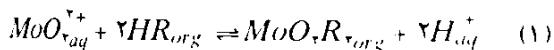
اثر غلظت‌های یون فلزی ( $10^{-1}$ - $1M$ ) بر استخراج مولیدین (VI) از محیط  $H_2SO_4$   $1/0 \times 10^{-2} M$  به وسیله سیانکس ۳۰۱ در کروزن بررسی گردید. نتایج پرشدن استخراج کننده با تغییر غلظت اولیه مولیدین (VI) ( $10^{-1}$ - $5 \times 10^{-3} M$ ) در شکل ۵ نشان داده شده است. در



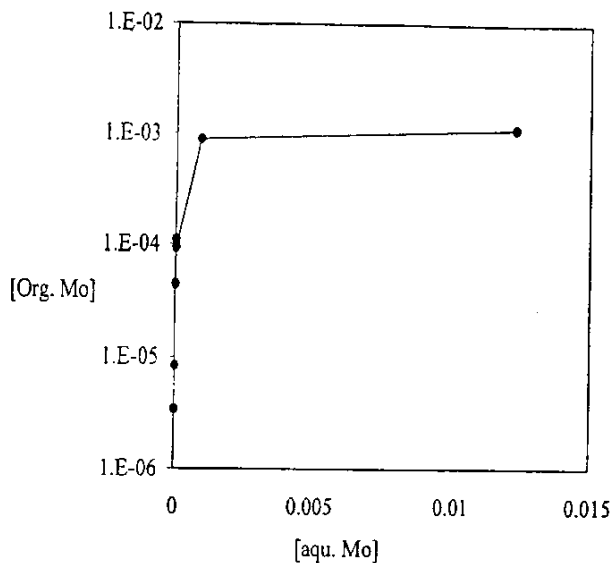
#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این کار پژوهشی نشان می‌دهند که زمان تکان دادن برای رسیدن به تعادل در مورد مولیبدن کوتاه است؛ بنابراین می‌توان آن را به طور سینتیکی از عناصری که زمان تعادل طولانی دارند جدا کرد. سیانکس ۳۰۱ به علت داشتن بازده استخراج بالا، در دامنه وسیعی از مولاریته اسید، استخراج‌کننده‌ای عالی برای مولیبدن (VI) است.

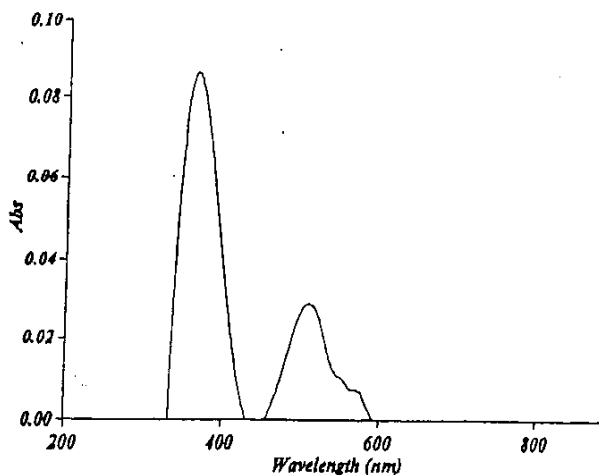
علاوه بر این استخراج مولیبدن به وسیله سیانکس ۳۰۱ نیازی به نظارت دقیق بر اسیدیته فاز مایع ندارد و تغییرات غلظت استخراج‌کننده نشان می‌دهد که واکنش استخراج در محیط  $2 \times 10^{-4} M H_2SO_4$  از سازوکار زیر پیروی می‌کند:



در غلظت کمتر از  $0.01 M$  سیانکس ( $\text{Log}D=0$ ) استخراج معکوس و در غلظت بیشتر از آن، استخراج صورت می‌گیرد. در غلظت  $0.1 M$  سیانکس بازده استخراج تقریباً ۹۹٪ است. بهتر این است که استخراج در دماهای بالاتر انجام شود، زیرا واکنش گرماگیر است مقایسه نتایج ما با نتایج سیلی و همکارانش نشان می‌دهد که ظرفیت پرتشدگی سیانکس ۳۰۱ برای مولیبدن (VI) در محیط HCl ده مرتبه بزرگتر از محیط  $H_2SO_4$  است. با این حال بررسی‌های بیشتری روی این سیستم در حال انجام است.



شکل ۵- پروتوم استخراج مولیبدن (VI) از محلول اسید سولفوریک  $0.01 M$  با سیانکس ۳۰۱



شکل ۶- طیف مرئی UV فاز آلی در استخراج مولیبدن (VI)  $(5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-2} M)$  با سیانکس ۳۰۱  $0.01 M$



## References

1. J.C. Bailar, Jr.H.J. Emeleus, R. Nyholm, A.F. Trotman-Dichenson, "Comprehensive Inorganic Chemistry." Vol. 3, Pergamon Pres Ltd. U.S.A., (1973).
2. Anonymous, Fission molybdenum for medical use." Proceedings of a technical committee meeting, organized by the international atomic energy agency and held in Karlsruhe, IAEA-TECDOC-515, 13-16 October (1987).
3. W.R. Chapple, K.K. Peterson, "Molybdenum in environment," Marcel Dekker, New York, (1976).
4. P. Zhang, K. Inoue, H. Yoshizuka, H. Tsuyama, "Extraction and selective stripping of molybdenum (VI) and vanadium (VI) from sulfuric acid solution containing aluminum (III), cobalt (II), nickel (II) and iron (III) by LIX-63 in Exxol-D80, Hydrometallurgy," 1(41), 45-53 (1996).
5. R. Shanker, K.S. Venkateswarlu, "Solvent extraction of molybdenum and technetium with Alamine-336 from acid solutions," Sep.Sci. 6(11), 591-596 (1976).
6. E. Oezensoy, A.R. Burkin, "Separation of tungsten and molybdenum by solvent extraction," U.S. Patent 4,275,039 (1981).
7. T. Sato, H. Watanabe, H. Suzuki, "Liquid-liquid extraction of molybdenum from aqueous acid solution by high-molecular weight amines," Solvent Extr. Ion Exch., 5(4), 987-998 (1986).
8. C. Brassier lecarne, P. Baron, J.I. Chevalier, C. Madic, "Acidic organophosphorus solvent extraction process for purification of molybdenum in tailings from uranium ore treatment," Hydrometallurgy, 47, 57-67 (1997).
9. C.C. Chen, W.L. Cheng, G. Ting, "Solvent extraction study on the separation of Molybdenum-99 and uranium in sulfuric acid medium by D2EHPA in kerosene," Nucl. Sci. J., 23(4), 215-223 (1986).
10. P. Behera, S. Mishra, J. Mohanty, V. Chakravorty, "Liquid-liquid extraction of Mo (VI) and U (VI) by Alamine-310 and its binary mixtures with TBP, DPSO and Cyanex-301 from H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Acid medium," Radiochim, Acta, 4(65), 233-237 (1994).
11. I. Komasaawa, H. Hosoba, N. Kurokawa, T. Otake, "Extraction of molybdenum and vanadium from hydrochloric acid by Tri (n-butyl) phosphate (TBP) in various diluent solutions." J. Chem. Eng.Jpn., 2(20), 176-182 (1987).
12. I. Komasaawa, H. Hosoba, T. Otake, "Solvent extraction process for separation and purification of molybdenum and vanadium by tri (n-butyl) phosphate in xylene," Chem. Eng.Jpn., 2(20), 183-185 (1987).
13. P. Behera, R. Mishra, V. Chakravorty, "Extraction of Mo (VI) and U (VI) by Alamine-301 and its mixture from HCl solution." Radiochim. Acta, 3(62), 153-157 (1993).



14. T. Sato, H. Watanabe, H. Suzuki, "Liquid-liquid extraction of molybdenum (VI) from aqueous acid solutions by TBP and TOPO," *Hydrometallurgy*, 2-3(23), 297-308 (1990).
15. W.L. Cheng, C.S. Lee, C.C. Chen, G. Ting, "Process study on the separation of Mo-99 from irradiated natural uranium dioxide," *Radiochimica Acta*, 47, 69-76 (1989).
16. F.R. Valezuela, J.P. Andrade, J. Sapag, C. Tapia, C. Basualto, "The solvent extraction separation of molybdenum and copper from acid leach residual solution of Chilean molybdenite concentrate," *Miner. Eng.*, 8(8), 893-904 (1995).
17. K. Natio, T. Matsui, Y. Tanaka, "Recovery of noble metals from insoluble residue of spent fuel," *J. Nucl. Sci. Technol. (Japan)*, 6(23), 540-549 (1986).
18. P. Navarro, F.J. Alguacil, "Extraction of Mo (VI) solutions in nitric media by Alamine-336 or Aliquat-336," *Rev. Metal. (Madrid)*, 6(31), 379-385 (1995).
19. B.S. Mohite, J.M. Patil, "Separation of molybdenum (VI) from other elements by solvent extraction with Dibenzo-18-Crown-6 from hydrochloric acid media," *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 150(1), 207-216 (1991).
20. W.J. Macck, M.E. Kussy, J.E. Rein, "Radiochemical determination of molybdenum by solvent extraction, *Anal. Chem.*, 33(2), 237-238 (1961).
21. A.G.C. Nair, S.K. Das, S.M. Deshmukh, S. Prakash, "Carrier free separation of <sup>99</sup>Mo from <sup>233</sup>U fission products," *Radiochimica Acta*, 57, 29-31 (1992).
22. E. Keshavarz Alamdari, S.K. Sadrnezhad, "Thermodynamics of extraction of MoO<sub>4</sub> from aqueous sulfuric acid media with TBP dissolved in kerosene," *Hydrometallurgy*, 55, 327-341 (2000).
23. K.C. Sole, J.B. Hiskey, T.L. Ferguson, "An assessment of the long-term stabilities of Cyanex-302 and Cyanex-301 in sulfuric and nitric acids," *Solvent Extr. Ion Exch.*, 11(5), 783-796 (1993).
24. J. Chen, R. Hiao, Y. Zhu, "A study on the radiolytic stability of commercial and purified Cyanex-301," *Solvent Extr. Ion Exch.*, 14(4), 555-565 (1996).
25. A. Saily, U. Khurana, S.K. Yadav, S.N. Tandon, "Thiophosphinic acids as selective extractants for molybdenum recovery from a low-grade ore and spent catalysts," *Hydrometallurgy*, 41, 99-105 (1996).
26. P. Behera, Ms. S. Mishra, Ms. I. Mohanty, V. Chakravorty, "Organophosphinic, phosphonic acids and their binary mixtures as extractants for molybdenum (VI) and uranium (VI) from aqueous HCl media," *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 178(1), 179-192 (1994).
27. P. Behera, V. Chakravorty, "Extraction of molybdenum (VI) by Alamine 310, Cyanex 301 and their mixtures from HClO<sub>4</sub> acid solution," *Indian J. Chem.*, 32A, 825-826 (1993).
28. T. Kahoi, M. Goto, F. Nakashio, "Solvent extraction of palladium with Bis (2,4,4-trimethylpentyl)





- dithiophosphinic acid and Bis (2,4,4-trimethylpentyl) monothiophosphinic acid," Solvent Extr. Ion Exch., 12(3), 541-555 (1994).
- 29.K.C. Sole, J.B. Hiskey, "Solvent extraction of copper by Cyanex 272, Cyanex 302 and Cyanex 301," Hydrometallurgy, 37, 129-147 (1995).
- 30.S. Sakurai, S. Tachimori, D. Pareau, G. Durand, "Extraction of copper ions by Cyanex 301 from hydrochloric acid media," Proc. Symp. Solvent Extr. (Japan), 49-50 (1993).
- 31.B.K. Tait, "The extraction of some base metal ions by Cyanex 301, Cyanex 302 and their binary extractant mixtures with Aliquat 336," Solvent Extr. Ion Exch., 10(5), 799-809 (1992).
- 32.M. Avila Rodriguez, G. Cote, D. Bauer, "Recovery of indium (III) from mixed hydrochloric acid-sulfuric acid media by solvent extraction with Cyanex 301," Solvent Extr. Ion Exch., 10(5), 811-827 (1992).
- 33.Y. Zhu, J. Chen, R. Jiao, "Extraction of Am (III) and Eu (III) from nitrate solution with purified Cyanex-301," Solvent Extr. Ion Exch. 14(1), 61-68 (1996).
- 34.R. Singh, A.R. Khwaja, B.Gupta, S.N. Yandon, "Extraction and separation of nickel (II) using bis (2,4,4-Trimethylpentyl) dithiophosphinic acid (Cyanex 301) and its recovery from spent catalyst and electroplating bath residue," Solvent Extr. Ion Exch., 17(2), 367-390 (1999).

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۰/۵/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۰/۱۰/۲۴

