

## بررسی پارامترهای موثر بر استخراج سلنیم در محیط‌های آبی نیتریک اسید با استفاده از استخراج کننده سیانکس ۳۰۱

فرناز محمودیانی<sup>۱\*</sup>، سعید علمدار میلانی<sup>۲</sup>، فرامرز هرمزی<sup>۱</sup>

۱. دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه سمنان، صندوق پستی ۱۹۱۱۱-۳۵۱۳۱، سمنان- ایران.

۲. پژوهشکده‌ی چرخه‌ی سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران- ایران.

### چکیده

سلنیم یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین عناصر در صنعت و در عین حال بسیار نادر در طبیعت است. عمده کاربردهای آن در ساخت تجهیزات الکترونیکی، در رنگ‌دانه‌ها، ساخت شیشه، در تولید رادیو داروهای هسته‌ای برای تشخیص و درمان است. منبع اصلی تجاری سلنیم، لجن آندی مس پالایشگاه‌های تصفیه‌ی مس است. چندین روش برای پردازش و بازیابی سلنیم از لجن آند استفاده شده است. این‌ها شامل روش‌های هیدرومتالورژی است. در پژوهش حاضر، استخراج مایع-مایع (حلالی) برای بازیابی سلنیم از محلول‌های آبی نیتریک اسید بهینه شده است. برای ارزیابی تأثیرات سه متغیر مستقل غلظت نیتریک اسید، غلظت سیانکس ۳۰۱ و دمای استخراج بر پاسخ درصد استخراج (E)، آزمایش‌های طراحی شده با روش سطح پاسخ (RSM) بر پایه‌ی طرح مرکب مرکزی (CCD) اجرا گردید. استخراج سلنیم بهینه شده و در شرایط مطلوب غلظت  $2.75 \text{ mol L}^{-1}$  نیتریک اسید، غلظت  $0.06 \text{ mol L}^{-1}$  سیانکس ۳۰۱ و دمای استخراج ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، درصد استخراج سلنیم بیش از ۹۸ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: استخراج حلالی، سلنیم، محیط‌های نیتریک اسید، سیانکس ۳۰۱

## Investigation of effective parameters on solvent extraction of selenium from aqueous nitric acid media using cyanex 301 extractant

F. Mahmoudiani<sup>1\*</sup>, S.A. Milani<sup>2</sup>, F. Hormozi<sup>1</sup>

1. Chemical engineering department, Semnan University, P.O. Box: 35131-19111, Semnan- Iran.

2. Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O. Box: 14893-836, Tehran – Iran.

### Abstract:

Selenium is one of the most important and widely used elements in industry and at the same time very rare in nature; its major uses are in the manufacture of electronic equipment, in pigments, in making glass, in the nuclear medicine for treatment, diagnosis and therapy. The principal commercial source of selenium is as a by-product of copper refining. Several methods have been used for processing and recovery of selenium from anode slimes. These include hydrometallurgical methods. Liquid- liquid (solvent) extraction. In this research, the liquid- liquid (solvent) extraction method was optimized to recover selenium from aqueous nitric acid solutions. To evaluate the impacts of three independent variables, namely nitric acid concentration, Cyanex 301 concentration and extraction temperature on the responses of the percentage extractions (%E) of selenium, experiments designed by response surface methodology (RSM) based on the central composite design (CCD) were performed. The selenium recovery was optimized and at the optimum condition of HNO<sub>3</sub> concentration of  $2.75 \text{ mol L}^{-1}$ , Cyanex 301 concentration of  $0.06 \text{ mol L}^{-1}$ , and extraction temperature of  $25^\circ\text{C}$  Se recovery was found to be more than 98%.

**Keywords:** Solvent extraction, Selenium, Cyanex 301, nitric acid media.

<sup>1</sup> Email: farnaz.mahmoodiani@gmail.com

## ۱. مقدمه

سلنیم، یکی از کم‌یاب‌ترین عناصر موجود در پوسته‌ی زمین با فراوانی  $0.9 \text{ ppb}$  است [۱]. جدای از سنگ معدن سولفید، منبع اصلی این عنصر، لجن آندی مس<sup>۲</sup> است. در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد سلنیم از لجن‌های آندی مس، نیکل و سرب در پالایش الکترولیتی در جهان به‌دست می‌آید. لجن آندی مس مواد نامحلول باقی‌مانده از تصفیه‌ی الکترولیتی مس است. لجن آندی مس حاوی عناصر با ارزشی چون طلا، نقره، برخی عناصر گروه پلاتین، سلنیم و تلوریم است که به‌عنوان محصولات ثانویه‌ی فرایند تولید شمش مس از لجن استخراج می‌شوند. مقدار عنصر سلنیم در لجن مس آندی ۵ - ۲۵ درصد وزنی است، و این مقدار در لجن آندی مس سرچشمه، حدود  $11/23$  درصد وزنی گزارش شده است [۲]. منبع دیگری که برای استحصال سلنیم می‌توان به آن اشاره کرد، لجن سربی است که در کارخانه‌های تولید سولفوریک اسید تولید می‌شود [۳].

برای بازیابی عناصر با ارزش از لجن آندی مس، چهار دسته فرایند استفاده شده است که عبارت‌اند از: روش‌های پیرومتالورژی، هیدرومتالورژی، فرایندهای جداسازی فیزیکی (به‌عنوان مثال شناورسازی) و فرایندهای هیدرومتالورژی. هیدرومتالورژی دارای بازده استخراجی بالا، به‌ویژه برای عناصر کم‌مقدار است [۴]. روی چاودوری و شایامال [۵] استخراج سلنیم و تلوریم از محلول هیدروکلریک اسید با استفاده از استخراج‌کننده‌ی تری بوتیل فسفات در رقیق‌کنندگی کروزن را بررسی و غلظت بهینه‌ی اسید برای استخراج انتخابی سلنیم را معادل ۴-۵ مول بر لیتر گزارش نمودند. هم‌چنین، اگر اول و همکاران [۶]، استخراج حلالی سلنیم و تلوریم از محیط هیدروکلریک اسید با استفاده از استخراج‌کننده‌ی روتاکسان  $0.001$  مول بر لیتر در رقیق‌کننده‌ی کلروفرم را بررسی و غلظت بهینه‌ی هیدروکلریک اسید برای استخراج سلنیم را ۴ مول بر لیتر گزارش نمودند. آشوک و همکاران [۷] هم استخراج و جداسازی سلنیم و تلوریم با استفاده از استخراج‌کننده‌ی سیانکس ۹۲۵ در رقیق‌کننده‌ی تولوئن را بررسی کرده و گزارش نمودند که بیش‌ترین میزان استخراج سلنیم در قدرت اسیدی معادل ۶-۷ مول بر لیتر هیدروکلریک اسید حاصل می‌شود. سارگر و همکاران [۸] نیز توانستند سلنیم را تقریباً به طور کامل توسط آن اکتیل آنیلین در زایلن از محیط هیدروکلریک اسید رقیق بازیابی کنند. از طرفی آن‌ها ستاری و همکاران [۹]، استخراج سلنیم از محیط هیدروکلریک اسید با استفاده از استخراج‌کننده‌ی تری ایزو بوتیل فسفات در رقیق‌کننده‌ی کروزن و همچنین اثر اصلاح‌کننده دودکانوئل را مورد بررسی قرار داده و با اصلاح‌کننده‌ی دودکانوئل توانستند به استخراج کامل سلنیم در pH نزدیک به صفر دست یابند.

مقاله‌ی حاضر ویژگی‌های استخراج سلنیم (IV) در سیستم سلنیم (IV) - نیتریک اسید - سیانکس ۳۰۱ - کروزن را گزارش می‌کند. هم‌چنین، اثرات متغیرهای فاز آبی و آلی (از جمله اسیدیته‌ی محلول خوراک، غلظت استخراج‌کننده و دمای واکنش) بر فرایند استخراج سلنیم به وسیله‌ی سیانکس ۳۰۱ با بهره‌گیری از روش سطح پاسخ<sup>۳</sup> (RSM) و طرح مرکب مرکزی<sup>۴</sup> بررسی شده است.

## ۲. بخش تجربی

### مواد و تجهیزات

یک محلول مادر  $0.12$  مول بر لیتر سلنیم (IV) با استفاده از سلنیم دی اکسید (مرک) در آب مقطر تهیه شد. استخراج‌کننده‌ی سیانکس ۳۰۱ از شرکت سایتک کانادا تهیه و بدون خالص‌سازی بیش‌تر استفاده شد. از کروزن تجاری شرکت فلوکا به عنوان ماده‌ی رقیق‌کننده استفاده شد. تمامی مواد مورد استفاده در مطالعه‌ی حاضر دارای خلوص تجزیه‌ای بود. تیفسنج نشر اتمی - پلاسما

<sup>2</sup> Copper anode slimes

<sup>3</sup> response surface methodology

<sup>4</sup> central composite design

جفت‌شده‌ی القایی<sup>۵</sup> مدل واریان لیبرتی ۲۲۰ برای تجزیه‌ی عیارسنجی سلنیم استفاده شد. اندازه‌گیری pH با استفاده از pH سنج رقمی مترواهم انجام شد.

### طراحی و روش آزمایش

آزمایش‌های استخراج سلنیم با استفاده از سیانکس ۳۰۱ در یک سیستم ناپیوسته با غلظت ثابت سلنیم در فاز خوراک، مطابق با شرایط تعیین شده در طرح RSM (جدول ۱) طراحی و اجرا شد. تمامی آزمایش‌ها در ظروف پلی اتیلنی ۱۰۰ میلی لیتری با مقدار ثابت ۱۰ میلی لیتر از فاز آبی و فاز آلی، درون تکاننده - گرم‌کننده با سرعت ۲۰۰ دور بر دقیقه انجام شد. همگی آزمایش‌ها دو بار تکرار و میانگین نتایج گزارش شد. درصد استخراج (E) با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه شد:

$$\%E = \frac{D}{D + (V_{aq} / V_{org})} \times 100 \quad (1)$$

برای بهینه‌سازی فرایندها معمولاً از تکنیک‌های آماری چند متغیره از جمله روش سطح پاسخ (RSM) استفاده می‌شود. روش سطح پاسخ یک روش آماری جای‌گزین برای روش تغییر یک متغیر در هر زمان<sup>۶</sup> (OVAT) است که اثر تداخل بین پارامترهای متفاوت را می‌تواند ارائه دهد [۱۰، ۱۱]. در این مطالعه، اثر متغیرهای مستقل  $X_1$ ، غلظت اسید؛  $X_2$ ، غلظت استخراج‌کننده؛ و  $X_3$ ، دمای واکنش، در سه سطح مورد ارزیابی قرار گرفت. در روش سطح پاسخ، برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود که اثرهای اصلی و متقابل عامل‌ها را بر روی هر متغیر جداگانه بیان می‌نماید، مدل چند متغیره به صورت زیر است:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k B_i X_i + \sum_{i=1}^k B_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k B_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (2)$$

که در آن،  $Y$  پاسخ پیش‌بینی شده،  $\beta_0$  ضریب ثابت،  $\beta_i$  اثرهای خطی،  $\beta_{ii}$  اثرهای مربعی،  $\beta_{ij}$  اثرهای متقابل‌اند.

### ۳. یافته‌ها و بحث

#### مدل‌سازی و تحلیل آماری

جدول ۱ شرایط استخراج و نیز مقادیر به‌دست آمده برای درصد استخراج سلنیم با سیانکس ۳۰۱ از محیط‌های نیتریک اسید را نشان می‌دهد. بر این اساس نرم افزار طراحی آزمایش مدل چند جمله‌ای درجه دوم را به‌عنوان مدل مناسب برای پاسخ انتخاب کرد. معنی‌داری آماری مدل انتخاب‌شده و نیز هر کدام از ضریب‌های رگرسیونی مدل با تحلیل واریانس بررسی شد (جدول ۲). هرچه مقدار  $F$  بزرگ‌تر و مقدار معنی‌داری ( $p$ ) کوچک‌تر شود، مدل معنی‌دارتر خواهد بود [۱۲]. بر این اساس مقدار بالای  $F$  (۳۹۱۰۹) و مقدار پایین  $p$  (۰/۰۰۰۱) برای پاسخ نشان می‌دهد که مدل چند جمله‌ای درجه‌ی دوم به خوبی به داده‌های آزمایشی درصد استخراج سلنیم (IV) برازش شده است. کفایت مدل گزینش‌شده علاوه بر این با استفاده از ضریب تعیین<sup>۷</sup> ( $R^2$ ) نیز بررسی شد. مقدار بالای ضریب تعیین (۰/۹۷۴۵)، نشان می‌دهد این مدل برای پیشگویی پاسخ مربوطه به اندازه‌ی کافی دقیق است.

5. ICP-AES

3. One variable at time

4. Coefficient of determination

**جدول ۱.** طرح مرکب مرکزی با ۳ متغیر مستقل که درصد استخراج سلنیم را به عنوان پاسخ نشان می‌دهد

شماره‌ی آزمایش	غلظت HNO <sub>3</sub> (mol L <sup>-1</sup> )	غلظت سیانکس ۳۰۱ (mol L <sup>-1</sup> )	دما (°C)	درصد استخراج سلنیم (%E)
۱	۱٫۰	۰٫۰۹۵۹	۲۰٫۰	۹۷٫۱
۲	۵٫۰	۰٫۰۲۵۳	۲۰٫۰	۵۶٫۰
۳	۳٫۰	۰٫۱۲۰۰	۳۵٫۰	۷۹٫۲
۴	۳٫۰	۰٫۰۶۰۶	۳۵٫۰	۹۶٫۴
۵	۵٫۰	۰٫۰۹۵۹	۵۰٫۰	۴۸٫۰
۶	۳٫۰	۰٫۰۰۱۲	۳۵٫۰	۱۸٫۸
۷	۵٫۰	۰٫۰۹۵۹	۲۰٫۰	۶۳٫۵
۸	۵٫۰	۰٫۰۲۵۳	۵۰٫۰	۲۰٫۶
۹	۱٫۰	۰٫۰۹۵۹	۵۰٫۰	۶۶٫۵
۱۰	۳٫۰	۰٫۰۶۰۶	۳۵٫۰	۹۶٫۴
۱۱	۳٫۰	۰٫۰۶۰۶	۶۰٫۰	۲۵٫۴
۱۲	۳٫۰	۰٫۰۶۰۶	۳۵٫۰	۹۶٫۴
۱۳	۰٫۱	۰٫۰۶۰۶	۳۵٫۰	۹۸٫۸
۱۴	۶٫۰	۰٫۰۶۰۶	۳۵٫۰	۱۵٫۳
۱۵	۳٫۰	۰٫۰۶۰۶	۳۵٫۰	۹۶٫۴
۱۶	۳٫۰	۰٫۰۶۰۶	۱۰٫۰	۹۸٫۸
۱۷	۱٫۰	۰٫۰۲۵۳	۵۰٫۰	۵۹٫۴
۱۸	۳٫۰	۰٫۰۶۰۶	۳۵٫۰	۹۶٫۴
۱۹	۳٫۰	۰٫۰۶۰۶	۳۵٫۰	۹۶٫۴
۲۰	۱٫۰	۰٫۰۲۵۳	۲۰٫۰	۸۲٫۱

**جدول ۲.** تحلیل واریانس مدل سطح پاسخ درجه‌ی دوم برای درصد استخراج سلنیم

معنی‌داری	ارزش اف	میانگین مربعات	درجه‌ی آزادی	جمع مربعات	منبع
<۰٫۰۰۰۱	۳۹٫۰۹	۴×۱۰ <sup>-۷</sup> ، ۱۷۱	۶	۱۰ <sup>-۸</sup> ۲×۱۰ <sup>۵</sup> ، ۰۳	مدل
<۰٫۰۰۰۱	۶۲٫۷۹	۶×۱۰ <sup>-۷</sup> ، ۷۰۰	۱	۶×۱۰ <sup>-۷</sup> ، ۷۰۰	اسید (X <sub>۱</sub> )
۰٫۰۰۰۹	۱۸٫۲۴	۱×۱۰ <sup>-۷</sup> ، ۹۴۷	۱	۱×۱۰ <sup>-۷</sup> ، ۹۴۷	سیانکس (X <sub>۲</sub> )
<۰٫۰۰۰۱	۵۳٫۷۵	۵×۱۰ <sup>-۷</sup> ، ۷۳۶	۱	۵×۱۰ <sup>-۷</sup> ، ۷۳۶	دما (X <sub>۳</sub> )
<۰٫۰۰۰۱	۳۰٫۷۶	۳×۱۰ <sup>-۷</sup> ، ۲۸۲	۱	۳×۱۰ <sup>-۷</sup> ، ۲۸۲	X <sub>۱</sub> <sup>۲</sup>
<۰٫۰۰۰۱	۵۹٫۸۰	۶×۱۰ <sup>-۷</sup> ، ۳۸۱	۱	۶×۱۰ <sup>-۷</sup> ، ۳۸۱	X <sub>۲</sub> <sup>۲</sup>
۰٫۰۰۰۲	۲۷٫۸۰	۲×۱۰ <sup>-۷</sup> ، ۹۶۶	۱	۲×۱۰ <sup>-۷</sup> ، ۹۶۶	X <sub>۳</sub> <sup>۲</sup>
			۱۹	۲×۱۰ <sup>-۸</sup> ، ۶۴۱	کل
				۰/۹۷۴۵	R <sup>۲</sup>
				۰/۹۶۹۶	R <sup>۲</sup> تعدیل شده
				۰/۹۱۶۱	R <sup>۲</sup> پیش‌بینی شده

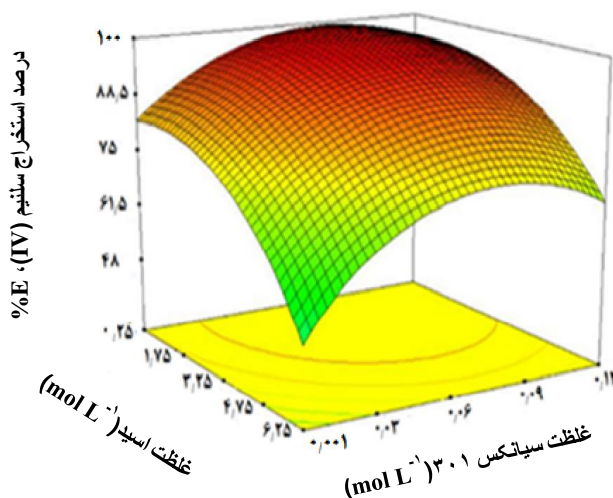
همچنین ارتباط تجربی بین درصد استخراج سلنیم و متغیرهای آزمایش به صورت زیر به دست آمد:

$$Y^T = -2795,67218 + 1729,13591X_1 + 2,38246 \times 10^5 X_2 + 316,61497X_3 - 49,66509X_1^2 - 1,61612 \times 10^6 X_2^2 - 6,49254X_3^2 \quad (3)$$

## اثر متغیرهای عملیاتی بر درصد استخراج

اثر غلظت نیتریک اسید - غلظت استخراج کننده

اثر غلظت نیتریک اسید - غلظت سیانکس ۳۰۱ در دمای ثابت ( $35^{\circ}\text{C}$ ) بر درصد استخراج سلنیم در شکل ۱ نشان داده شده است. افزایش غلظت استخراج کننده، باعث ابتدا افزایش درصد استخراج سلنیم و سپس کاهش آن می‌شود. علت این موضوع افزایش تعداد مولکول‌های استخراج کننده است؛ در غلظت‌های پایین، مقدار استخراج کننده محدود کننده واکنش استخراج است. در نتیجه با افزایش غلظت استخراج کننده، ابتدا درصد استخراج سلنیم افزایش می‌یابد و رفته رفته با کاهش مقدار سلنیم در فاز آبی و با به تعادل رسیدن واکنش استخراج از شدت آن کاسته می‌شود که این امر را می‌توان با افزایش مقدار گرانروی فاز آلی فاز آلی و در نتیجه کاهش کارایی آن برای استخراج مرتبط دانست.



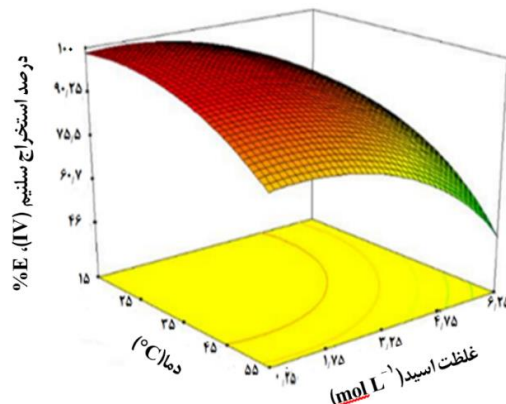
شکل ۱. نمودار سه بعدی اثر هم‌زمان دو متغیر غلظت نیتریک اسید و غلظت استخراج کننده در دمای ثابت  $35^{\circ}\text{C}$  بر درصد استخراج سلنیم (IV).

## اثر دما - غلظت نیتریک اسید و تحلیل ترمودینامیکی

شکل ۲ رابطه‌ی بین دما - غلظت نیتریک اسید و درصد استخراج سلنیم را در یک غلظت ثابت ( $0.06$  مول بر لیتر) سیانکس ۳۰۱ نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دما از  $10^{\circ}\text{C}$  تا  $60^{\circ}\text{C}$  درصد استخراج سلنیم کاهش می‌یابد. علت این کاهش را می‌توان به طبیعت گرمازا بودن واکنش استخراج سلنیم با سیانکس ۳۰۱ نسبت داد؛ هم‌چنین، هم در غلظت‌های پایین و هم در غلظت‌های بالای نیتریک اسید با افزایش دما کاهش درصد استخراج را خواهیم داشت، اما کاهش میزان استخراج سلنیم در غلظت بالای نیتریک اسید بیش‌تر از غلظت‌های پایین آن است. این نمودار نشان می‌دهد که در غلظت نزدیک به  $3 \text{ mol L}^{-1}$  نیتریک اسید، در دمای محیط می‌توان استخراج بهینه‌ی سلنیم را متصور شد.

## ۴. نتیجه گیری

بیان‌گر کارایی سیانکس ۳۰۱ برای استخراج مؤثر سلنیم از محلول آبی است. بیشینه درصد استخراج پیش‌بینی شده برای سلنیم توسط مدل بهینه (با مطلوبیت  $0.7868$ )، در شرایط بهینه‌ی  $0.06 \text{ mol L}^{-1}$  سیانکس ۳۰۱،  $2.75 \text{ mol L}^{-1}$  نیتریک اسید در فاز آبی و در دمای محیط به دست آمد. مشاهده شد که استخراج مؤثر سلنیم در اسیدیتته‌ی معادل نزدیک به  $3$  مول بر لیتر اتفاق می‌افتد و با افزایش بیشتر غلظت اسید درصد استخراج کاهش می‌یابد.



شکل ۲. نمودار سه بعدی اثر هم‌زمان دو متغیر دما و غلظت اسید در غلظت ثابت  $0.06 \text{ mol L}^{-1}$  سیانکس  $3.01$  بر درصد استخراج سلنیم (IV)

## مراجع

- [1] Lopes G., William Ávila F., Guilherme L. R. G., 2017. Review Selenium behavior in the soil environment and its implication for human health, *Comportamen to de selênio no solo e sua implicação para a saúde humana. Ciênc. Agrotec*, 41(6), 605-615.
- [2] Najafi A., Rezaei B., Qarabaghi, M., 2015. Statistical analysis of selenium recovery from Sarcheshmeh copper anode slimes, *International Conference on new research findings in chemistry and chemical engineering*, Tehran.
- [3] Bartos, P. J., (2002). SX-EW copper and the technology cycle, *Resources policy* 28 (3-4) 85-94.
- [4] Jeon, S., Tabelin, C.B., Park, I., Nagata, Y., Itoa, M., Naoki, H., 2020. Ammonium thiosulfate extraction of gold from printed circuit boards (PCBs) of end-of-life mobile phones and its recovery from pregnant leach solution by cementation. *Hydrometallurgy* 191, 105214.
- [5] Chowdhury, Madhusree Roy, and Shyamal K. Sanyal. 1993, Separation by solvent extraction of tellurium(IV) and selenium(IV) with tri-n butyl phosphate: some mechanistic aspets, *Hydrometa-llurgy* 32.2, 189-200.
- [6] Agrawal, Y. K., S. K. Menon, and Yauvan Pancholi, 2003. Liquid-liquid extraction, preconcentration and trace determination of selenium with rotaxane, 42(12).
- [7] Mhaske, Ashok A., and Purushottam M. Dhadke, 2003. Separation of Te (IV) and Se (IV) by extraction with Cyanex 925, *Separation science and technology* 38.14, 3575-3589.
- [8] Sargar, Balasaheb M., Sandip V. Mahamuni, and Mansing A. Anuse, 2011. Sequential separation of selenium (IV) from tellurium (IV) by solvent extraction with Nn-octylaniline: Analysis of real samples, *Journal of Saudi Chemical Society* 15.2, 177-185.
- [9] Sattari, Anahita, Maryam Kavousi, and Eskandar Keshavarz Alamdari, 2017. Solvent Extraction of Selenium in Hydrochloric Acid Media by Using Triisobutyl Phosphate and Triisobutyl Phosphate/Dodecanol Mixture, *Transactions of the Indian Institute of Metals* 70.4, 1103-1109.
- [10] Guifen Y., Xiaobin Z., Fu L., Jipeng C., Yuhong M., Huai Z., 2006. Preparation of CNTs-supported Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and Fe<sub>3</sub>C nanoparticles and the investigation on their magnetic properties. In: *NEMS '06 1st IEEE International Conference on nano/micro engineered and molecular systems*, 649-652.
- [11] Montgomery, Douglas C. *Design and analysis of experiments*. John Wiley & sons, 2017.
- [12] Gringeri A., Keng P. C., Borch R. F., 1988. Diethyldithiocarbamate inhibition of murine bone marrow toxicity caused by cis-diamminedichloroplatinum(II) or diammine-(1,1-cyclobutanedi-carboxylato)-platinum(II), *Cancer Research*, 48(20): 5708-5712.