

ساخت آشکارساز کیفی محلول حاوی یون های اورانیوم و ارزیابی کمی نتایج به روش پردازش تصویر با استفاده از نرم افزار MATLAB

علیرضا خواجه امیری^{۱*}، جلال شجاعی^۲، غلامرضا فغانی^۳

۱- دکتری شیمی آلی، ۲- کارشناسی ارشد سازمان تحقیقات و جهاد خودکفایی نزا، ۳- مربی، دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء (ص)

(دریافت: ۹۶/۱۰/۲۱، پذیرش: ۹۷/۰۲/۰۹)

چکیده

در این پژوهش، بسته آشکارساز کیفی اورانیوم حاوی شناساگرهای آرسنازو و برموپاداپ ساخته شده و با استفاده از شناساگر دیتیزون جهت تشخیص و تعیین برخی مزاحمت های یونی به روش رنگ سنجی، آشکارساز یون فلزی نیز ساخته شد. نتایج نشان داد که حد تشخیص یون اورانیوم با استفاده از آشکارسازهای حاوی شناساگرهای آرسنازو و برموپاداپ به ترتیب ۵۰ ppm و ۲۰ ppm است و در محیط های اسیدی (pH=5) آشکارسازهای ساخته شده عملکرد مناسبی از خود نشان می دهند. آشکارساز یون فلزی، یون هایی نظیر کبالت (II)، مس (II)، نیکل (II)، روی (II)، کادمیوم و نقره را تا حد تشخیص ۵۰ ppm شناسایی کرده و با توجه به این که آشکارساز کیفی اورانیوم حاوی شناساگر آرسنازو در حضور عامل های پوشاننده یون مزاحم در محلول بافری، تمامی ۲۱ یون مزاحم را حتی تا غلظت های بسیار بالا حذف کرده، نسبت به آشکارساز حاوی شناساگر برموپاداپ برتری خود را نشان می دهد که با جذب محلولی حاوی یون اورانیوم، رنگ سبز لجنی و آشکارساز برموپاداپ، رنگ بنفش را نمایان می سازد. ضمن اینکه زمان عملیات شناسایی اورانیوم برای آشکارسازهای آرسنازو و برموپاداپ به ترتیب حدود ۳ و ۱ دقیقه ثبت شده است. همچنین ارزیابی های کمی انجام شده بر اساس روش های پردازش تصویر با استفاده از نرم افزار MATLAB نشان می دهد که نتایج تجربی کاملاً با نتایج ارزیابی همخوانی دارد.

کلیدواژه ها: آشکارساز، اورانیوم، شناساگر، روش پردازش تصویر، نرم افزار MATLAB

Fabrication of Qualitative Uranium Indicator and Quantitative Evaluation of the Results by Image Processing Method using MATLAB Software

A. R. Khajeh-Amiri*, J. Shojaei, Gh. R. Faghani

Nezaja Organization of Research and Self-Esteem Jihad

(Received: 11/01/2018; Accepted: 29/04/2018)

Abstract

In the present study, the uranium qualitative detector package containing Arsenazo and Bromo-PADAP indicators was designed; and also, the metallic ion detector package using Dithizone Indicator was built for detection and determination of some ionic interference via Uranium colorimetric method. The obtained results indicated that the detection limits of Uranium ions were equal to 50 ppm and 20 ppm respectively using detectors containing Arsenazo and Bromo-PADAP indicators. In the acidic media (pH=5), the uranium detectors had good detection performance. The metallic ion detector detected ions such as cobalt (II), copper (II), nickel (II), zinc (II), cadmium and silver until the detection limit 50 ppm. Arsenazo detector was superior to Bromo-PADAP detector for detection of Uranium since it prevented any ionic interference even in very high concentrations which with absorbtion of a solution containing Uranium ion, Arsenazo and Bromo-PADAP detectors in the presence masking agents in buffer solution produced miry green and purple colors respectively. While the operation time for Uranium ion detection in the presence of Arsenazo and Bromo-PADAP detectors was 3 minutes and 1 minute respectively. Also, the quantitative evaluations based on image processing methods using MATLAB software show that the experimental results are consistent with the evaluation results.

Keywords: Detector, Uranium, Indicator, Image Processing and MATLAB Software

*Corresponding Author E-mail: a_khajehamiri@yahoo.com

۱. مقدمه

همواره تشخیص و شناسایی مواد در نمونه‌های جمع‌آوری شده از یک محیط آلوده به مواد مضر، چالشی اساسی برای همه محققین بوده است، چرا که وجود مقادیر اندکی از مواد زیان‌آور در محیط‌زیست ممکن است باعث از بین رفتن گونه‌های گیاهی، جانوری و یا حتی انسانی در آن منطقه شود. بنابراین، از گذشته تاکنون ارائه روش‌هایی جهت تعیین و تشخیص وجود این چنین مواد خطرناکی امری مهم بوده و است [۱].

در سال‌های اخیر استفاده و ساخت سلاح‌ها و بمب‌های پرتوزا که در صدر این سلاح‌ها بمب‌های اتمی هستند بیش از پیش افزایش پیدا کرده است. استفاده از این سلاح‌ها می‌تواند صدمات جبران‌ناپذیر زیستی و محیطی ایجاد کند. از مهم‌ترین مضرات این سلاح‌ها، باقی ماندن اورانیوم تضعیف‌شده در محیط است. این نوع اورانیوم، از پسماند واکنش شکافت هسته‌ای در راکتورهای هسته‌ای، جمع‌آوری و به‌کارگیری می‌شود. از آنجایی که اورانیوم ۲۳۵ سوخت مصرفی اصلی در راکتورها است تنها سه‌دهم درصد اورانیوم تضعیف‌شده از اورانیوم ۲۳۵ بوده و این بدان معناست که با توجه به نیمه‌عمر تقریباً چهار و نیم میلیارد سالی اورانیوم ۲۳۸ نسبت به نیمه‌عمر ۷۰۰ میلیون سالی اورانیوم ۲۳۵، مقدار رادیواکتیو اورانیوم تضعیف‌شده ضعیف‌تر از میزان اورانیوم طبیعی موجود در طبیعت است. تابش آلفا در این نوع اورانیوم نیز کمتر از میزان اورانیوم طبیعی بوده و میزان رادیواکتیویته اورانیوم تضعیف‌شده در ارتش آمریکا تنها ۶۰٪ اورانیوم طبیعی است. بنابراین میزان رادیواکتیویته تنها زمانی مهم است که به وفور در محیط استفاده شده باشد. کاربرد این‌گونه سلاح‌ها از این جهت بسیار خطرناک است که این نوع اورانیوم مانند سرب جزء فلزات سنگین بوده و فلزی سمی محسوب می‌شود و استفاده از آن در برخورد‌ها و گلوله‌های انفجاری به خاطر انفجار، سطح وسیعی از محیط را در برمی‌گیرد که به دلیل سمی بودن باعث انواع بیماری‌های خطرناک می‌شود. پس، در مرحله اول شناسایی اورانیوم استفاده‌شده مهم است [۲-۴]. در مرحله بعد، اینکه چه منطقه‌ای را از نظر اقلیمی آلوده ساخته و اثرات آن در آب و خاک چگونه است و چون در اثر انفجار، این ذرات به محیطی وسیع پرتاب می‌شوند و غلظت آن بسیار پایین می‌آید از لحاظ میزان رادیواکتیویته هنگامی که از گلوله‌های کمتری استفاده می‌شود دیگر قابل‌شناسایی نیستند و تنها می‌توان اثرات سمی حاصل از فلز را مشاهده نمود. برای جلوگیری از این مشکلات در ابتدا باید منطقه‌ی آلوده را تشخیص و سپس اقدامات لازم را انجام داد [۵-۶].

(KPA)، طیف‌سنجی آلفا، طیف‌سنجی جرقه مایع و طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) انجام می‌گرفت [۷-۹]. اما این روش‌ها نیازمند زمان طولانی برای آماده‌سازی نمونه و استفاده از ابزار گران‌قیمت در حین آنالیز هستند. بنابراین نیاز به روشی ساده و سریع برای تشخیص مناطق آلوده به مواد پرتوزا وجود دارد تا بدین طریق از آلوده شدن افراد بیشتر به این مواد خطرناک جلوگیری شود. روش تشخیص رنگ‌سنجی^۱ [۱۰]، روشی شیمیایی و بسیار ساده و سریع در زمینه شناسایی منطقه آلوده به مواد پرتوزا است. در این روش از یک رنگدانه جهت تعیین وجود یا عدم وجود مواد پرتوزا استفاده می‌شود. از جمله رنگدانه‌هایی که برای تشخیص اورانیوم به کار رفته‌اند برموپاداپ^۲ (۲-۵-برومو-۲-پیریدیل آزو)-۵-دی اتیل آمینو فنول) و آرسنازو (III) (۱۱-۸-دی هیدروکسی نفتالن-۳ و ۶-دی سولفونیک اسید-بیس (آزوفنیل آرسنیک اسید)) [۱۳-۱۰] هستند. این مواد ضمن تشکیل پیوند با اورانیوم با فلزات دیگری مانند کبالت، مس، آهن، کادمیوم، نیکل، سرب، روی و ... نیز پیوند برقرار می‌کنند که ممکن است برای تشخیص وجود اورانیوم مشکل‌ساز باشند چون این یون‌های فلزی یا کاتیون‌های مزاحم ممکن است همان رنگ مشاهده‌شده برای اورانیوم را نشان دهند. بنابراین، باید پیش از هر گونه آزمایش، این کاتیون‌های مزاحم از محلول حذف شده و یا توسط عوامل پوشاننده [۱۴] استتار شوند.

آشکارسازها به دو دسته آشکارساز فیزیکی و شیمیایی تقسیم می‌شوند. برخی از آشکارسازهای فیزیکی شامل آشکارسازهای نیمه‌رسانا، سوسوزن، چرنکوف و گایگرمولر [۱۵] هستند. آشکارسازهای شیمیایی نیز توسط دستگاه طیف‌سنج و یا به روش‌های تصویرسنجی و رنگ‌سنجی شناسایی مواد [۱۲ و ۱۴] صورت گرفته است. روش‌های فیزیکی آشکارسازی، بر اساس طیف سنجی تداخل و تجزیه امواج نور، قانون نفوذ مولکولی گراهام و هم چنین اندازه‌گیری ثابت‌های فیزیکی، مورد بررسی قرار گرفته‌اند و نیز روش‌های شیمیایی - فیزیکی نظیر تشخیص تغییرات اسیدیته و قابلیت هدایت، تولید گرما در یک واکنش گرمازا و فعالیت کاتالیتیکی مطالعه شده‌اند. همچنین محققین، روش‌های تشخیص بیولوژیکی و نیز روش‌های تشخیص انسانی شامل واکنش‌های قابل رویت در زیر میکروسکوپ و تأثیر واکنش‌ها بر روی حیوانات کوچک، پرندگان و ماهی‌ها را بررسی کرده‌اند. شرایط جوی، بسیاری از ثابت‌های فیزیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و روش‌های شیمیایی در غلظت‌های زیاد عوامل سمی یا در حضور مخلوط چندین عامل یا گاز متفاوت، گرد و غبار و گازهایی که ممکن است

^۱ Colorimetric Detection

^۲ Br-PADAP [2-(5-Bromo-2-Pyridylazo)-5-Diethylaminophenol]

^۳ Arsenazo(III) [(1,8-Dihydroxynaphthalene-3,6-Disulfonic Acid-Bis (Azophenyl Arsenic Acid)]

در گذشته اندازه‌گیری سطح اورانیوم در سیالات با روش‌های متنوعی مانند آنالیز فعالیت نوترون، آنالیز فسفرسانس جنبشی

استفاده در محیط نظامی از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف از این طرح ساخت آشکارساز کیفی اورانیوم است تا در کمترین زمان و با حداقل هزینه، یک فرد رزمنده بتواند با استفاده از آن، منطقه آلوده به مواد پرتوزا را تشخیص دهد، لذا با هدف شناسایی منطقه آلوده به ماده پرتوزای اورانیوم، بسته آشکارسازی طراحی و ساخته شده است که توانایی تشخیص حد پایین اورانیوم را دارا است

۲. روش تحقیق

مواد شیمیایی: تمامی مواد شیمیایی استفاده شده در این تحقیق نظیر اتانول، متانول، استونیتریل، تتراکلریدکربن، هیدروکلریک اسید، سولفوریک اسید، نیتریک اسید، استیک اسید، سدیم هیدروکسید، اتیلن دی آمین تتراستیک اسید (EDTA)، تری اتانول آمین هیدروکلرید، دی اتیلن تری آمین پنتااستیک اسید (DTPA)، تارتاریک اسید، تیواوره، ژلاتین، سدیم کربنات، شناساگرهای آرسنازو (III)، برموپاداپ، دی‌تیزون و نمک‌های اورانیل (VI) استات دوآبه $(UO_2(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O)$ ، منیزیم نیترات ۶ آبه، کلسیم نیترات ۴ آبه، لیتیم نیترات، استرانسیم (II) نیترات، سدیم نیترات، پتاسیم نیترات، جیوه (II)، نیترات ۲ آبه، نیکل (II) نیترات ۶ آبه، کادمیم (II) نیترات، آلومینیوم نیترات ۹ آبه، بیسموت (III) نیترات ۵ آبه، باریم نیترات، مس (II) نیترات تک آبه، روی (II) نیترات، آهن (III) نیترات ۹ آبه، آهن (II) نیترات ۷ آبه، کبالت (II) نیترات، منگنز (II) نیترات ۴ آبه، سرب نیترات، لانتانیم (III) نیترات، نقره نیترات از شرکت‌های مرک، فلوکا و سیگماآلدریج خریداری شد.

تجهیزات آزمایشگاهی: در این پروژه از دستگاه سانتریفیوژ مدل R ۵۷۰۲، آون خلاء مدل Memert، pH متر مدل ۱۱-PB، ورتکس مدل Heidolph و طیف‌نگار FTIR مدل ۲۷-Tensor استفاده شد.

روش ساخت آشکارساز اورانیوم با آرسنازو (III): برای ساخت آشکارساز اورانیوم، ابتدا محلول شماره (۱) توسط حل شدن ۰/۲۵ گرم آرسنازو (III) در ۲۰ میلی‌لیتر میلی‌لیتر محلول سدیم هیدروکسید ۰/۵ مولار تهیه شده و سپس با آب مقطر حجم محلول به ۱۰۰ میلی‌لیتر میلی‌لیتر رسانده شد. محلول شماره (۲) توسط حل کردن ۲/۵ گرم دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید (DTPA) در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر و افزودن چند قطره محلول ۰/۵ مولار سدیم هیدروکسید تهیه شد. محلول شماره (۳) نیز شامل ۱۰ گرم تارتاریک اسید و ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر بود. سپس سه محلول (۱) و (۲) و (۳) به ترتیب با نسبت‌های ۱ و ۲ و ۱ در هم مخلوط شد. بدین منظور از محلول شماره (۲)، ۸ میلی‌لیتر و از محلول‌های شماره (۱) و (۳) هر کدام ۴ میلی‌لیتر برداشته و درون یک شیشه ریخته و در نهایت به آن ۲/۵ میلی‌لیتر

در جنگ به حساب آورده نشوند مانع از ارائه پاسخ‌های صحیح می‌شوند. پیش از هرگونه توضیحی باید متذکر شد که آشکارساز شیمیایی برای شناسایی اورانیوم به صورت نمونه کاربردی یافت نشده است اما می‌توان بیان کرد که آشکارسازی شیمیایی به روش‌های مختلف طیفسنجی و رنگ‌سنجی و تصویرسنجی تاکنون انجام گرفته است. به عنوان مثال میریام و همکارانش [۱۲] توانستند برخی از یون‌های فلزی نظیر آهن، کبالت، مس، اورانیوم و قلع را توسط فیلم‌ها و غشاهای پلیمری محلول در آب شناسایی کنند. در نتیجه با تشکیل کمپلکس هر یک از فلزات با محلول حاوی پلیمر، رنگ متفاوتی که مختص آن فلز بود، حاصل گردید.

به طور کلی هر عکس یا تصویر به صورت یک ماتریس ریاضی است که در هر سلول از ماتریس، مقدار شدت رنگ و یا اصطلاحاً دامنه قرار گرفته است. البته در مورد تصاویر رنگی برای هر سلول، سه عدد به عنوان شدت رنگ تعریف می‌گردد که در واقع بیانگر میزان شدت رنگ مربوط به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی است. کنار هم قرار گرفتن این دامنه‌ها و شدت رنگ‌ها در سلول‌های مختلف سازنده تصاویر و الگوهای مختلف در یک تصویر هستند. هر تصویر به عنوان یک سیگنال دوبعدی در نظر گرفته می‌شود و تمامی الگوریتم‌ها و روش‌های مربوط به پردازش سیگنال بر روی آن قابل اعمال است. در واقع روش‌های پردازش تصویر شامل روش‌ها و الگوریتم‌های ریاضی هستند که بر روی یک تصویر به عنوان سیگنال دوبعدی اعمال می‌شوند تا یک نتیجه و یا ویژگی خاصی از آن تصویر را نشان دهند. مهم‌ترین روش‌های پردازش تصویر شامل طیف دامنه و فاز، تجزیه طیفی رنگی، همبستگی دوبعدی برای شناسایی بافت تضعیف نویز، افزایش توان تفکیک و... هستند. برای مثال الگوریتم ریاضی همبستگی دوبعدی برای شناسایی بافت و میزان تطبیق دو تصویر است. زمانی که در یک دستگاه حضور و غیاب الکترونیک فرد اثر انگشت می‌گذارد، همبستگی دو بعدی، این اثر انگشت را با تمامی نمونه‌های موجود محاسبه می‌کند و هر نمونه‌ای که مقدار بالاتری را به دست دهد، نشان‌دهنده اثر انگشت فرد مورد نظر است. در کتاب‌ها به صورت زیر تعریف می‌شود:

"پردازش تصویر رقمی یا پردازش تصویر دیجیتال بخشی از پردازش سیگنال دیجیتال است که در جهت بهره‌گیری و اعمال الگوریتم‌های رایانه‌ای پردازش تصویر به انجام می‌رسد. در مقایسه با پردازش تصویر آنالوگ، روش‌های مبتنی بر پردازش تصویر دیجیتال دارای مزیت‌های متعددی هستند که از آن جمله می‌توان به توانایی استفاده از الگوریتم‌های متعدد و پیچیده و همچنین عدم افزودن نویز در هنگام پردازش تصویر اشاره کرد [۱۶، ۱۷]. بنابراین در این پژوهش، ساخت سیستمی که توانایی تشخیص یون اورانیوم را در محیط‌های آبی و خاکی داشته باشد جهت

زیر یک وزنه سنگین قرار داده شد [۱۳]. برای بررسی تأثیر pH بر عملکرد آشکارسازی این کاغذهای آشکارساز از محلول سدیم هیدروکسید ۱ مولار استفاده شده است. بدین منظور با افزودن ۳ و ۵ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید ۱ مولار به محلول آشکارساز به ترتیب pH به ۹ و ۱۲ رسید. پس از آن نیز کاغذها به محلول‌های به دست آمده آغشته شده و خشک شدند. کاغذ خشک‌شده در محلول آشکارساز با pH حدوداً ۹ رنگ صورتی داشت و در pH حدوداً ۱۲ به رنگ صورتی پررنگ درآمد.

روش ساخت آشکارساز یون‌های فلزی: در این روش دو محلول (۱) و (۲) ساخته شده و با هم ترکیب شدند. برای تهیه محلول شماره (۱) ابتدا ۵۰ میلی‌لیتر اتانول در یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته سپس ۱ گرم تیواوره به آرامی به محلول اضافه شد و تحت دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه هم زده شد تا تیواوره به طور کامل حل و سپس به آن ۵۰ میلی‌گرم دیتیزون افزوده شد. محلول شماره (۲) نیز توسط ریختن ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر در یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری و افزودن ۲ گرم ژلاتین تحت حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد هیتر و هم زدن آن‌ها به مدت ۱۵ دقیقه و سپس افزودن ۸ گرم سدیم کربنات تهیه شد. پس از تهیه دو محلول، ۱۰ میلی‌لیتر از هر کدام برداشته و درون یک ظرف شیشه‌ای مخلوط شده و محلولی دو فاز می‌مشاهده شد (برای آغشته‌سازی کاغذ، از فاز قرمز رنگ محلول آشکارساز استفاده شده است) که pH آن حدوداً ۹ بود. سپس کاغذهای جاذب ۱۴۵۱ را به ابعاد ۱×۱ سانتی‌متری درآورده و درون محلول آشکارساز قرار داده تا به مدت ۱۰ دقیقه کاملاً آغشته شوند. این کاغذهای آغشته شده به محلول آشکارساز توسط پنس از محلول خارج شده و بر روی کاغذ نجسی که روی یک هیتر با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داشت، گذاشته شد. برای خشک‌شدن کامل این کاغذهای جاذب، به مدت ۳۰ دقیقه روی هیتر نگه داشته شد. پس از خشک‌شدن، کاغذ به رنگ نارنجی درآمد. در نهایت برای صاف و هموار شدن سطح جاذب‌ها، کاغذها زیر یک وزنه سنگین قرار داده شد [۱۴].

برای بررسی تأثیر pH بر عملکرد آشکارسازی این کاغذهای آشکارساز از استیک اسید خالص و محلول سدیم هیدروکسید ۱ مولار استفاده شده است. بدین منظور با افزودن ۳ میلی‌لیتر استیک اسید خالص به محلول آشکارساز pH به ۵ رسید. همچنین با افزودن ۳ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید ۱ مولار به محلول آشکارساز pH به ۱۲ رسید. پس از آن نیز کاغذها به محلول‌های به دست آمده آغشته شده و خشک شدند. کاغذ خشک‌شده در محلول آشکارساز با pH حدوداً ۵ رنگ قهوه‌ای غیریکنواخت داشت و در pH حدوداً ۱۲ به رنگ صورتی درآمد.

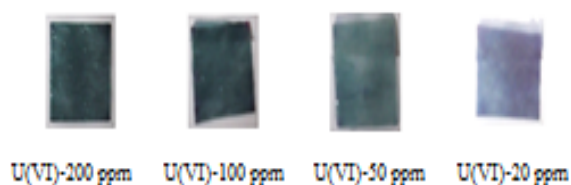
روش تهیه محلول‌های نمک فلزی: محلول‌های حاوی نمک‌های فلزی دارای غلظت ۲۰۰ ppm با حل شدن ۰/۰۲ گرم نمک

محلول سدیم هیدروکسید ۱ مولار افزوده شد. پس از آن کمی به محلول آشکارساز زمان دادیم تا رسوبات ته نشین شدند و محلول آشکارساز با pH حدوداً ۵ تهیه شد. سپس کاغذهای جاذب ۱۴۵۱ را به ابعاد ۱×۱ سانتی‌متری درآورده و آن‌ها را درون محلول آشکارساز قرار داده شد تا به مدت ۱۰ دقیقه کاملاً آغشته شوند. این کاغذهای آغشته شده به محلول آشکارساز توسط پنس از محلول خارج شده و بر روی کاغذ نجسی که روی یک هیتر با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داشت، گذاشته شد. برای خشک شدن کامل کاغذهای جاذب، به مدت ۳۰ دقیقه روی هیتر قرار داده شد. پس از خشک شدن، کاغذ به رنگ بنفش درآمد. در نهایت برای صاف و هموار شدن سطح جاذب‌ها، کاغذها زیر یک وزنه سنگین قرار داده شد [۱۴].

برای بررسی تأثیر pH بر عملکرد آشکارسازی این کاغذهای آشکارساز از محلول سدیم هیدروکسید ۱ مولار استفاده شده است. بدین منظور اگر به محلول آشکارساز هیچ سدیم هیدروکسیدی اضافه نشود pH محلول حدوداً ۲ می‌شود. با افزودن ۲/۵ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید ۱ مولار pH به ۵ رسید. همچنین با افزودن ۳/۵ و ۵ میلی‌لیتر به ترتیب pH به ۸ و ۱۳ رسید. پس از آن نیز کاغذها به محلول‌های به دست آمده آغشته شده و خشک شدند. کاغذ خشک‌شده در محلول آشکارساز اورانیوم ساخته شده با شناساگر آرسناز با pH حدوداً ۸، ۵، ۲ و ۱۳ به ترتیب رنگ‌های بنفش متمایل به مشکی، بنفش روشن یکنواخت، بنفش متمایل به آبی و آبی غیریکنواخت را نشان دادند.

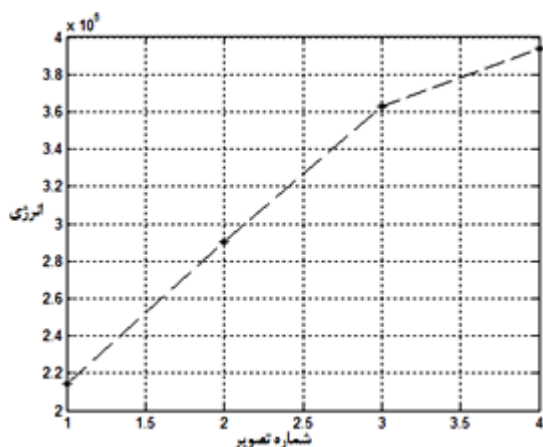
روش ساخت آشکارساز اورانیوم با برموپاداب: در این روش، محلول آشکارساز به وسیله حل کردن دو محلول (۱) و (۲) در یک شیشه کوچک تهیه شد. محلول شماره (۱) حاوی ۰/۵ گرم Br⁻ PADAP در ۵۰ میلی‌لیتر اتانول بود. محلول شماره (۲) شامل ۱ گرم EDTA، ۱ گرم تری اتانول آمین و ۱ گرم آمونیوم کلرید در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر بود. محلول شماره (۲) برای پوشاندن عامل های مزاحم یونی تهیه شده است. با حل کردن این دو محلول با نسبت ۲ به ۱ محلول برموپاداب به محلول پوشاننده عامل‌های یونی، محلول آشکارساز اورانیوم با pH حدوداً ۵ مهیا شد. بدین منظور از محلول شماره (۲)، ۵ میلی‌لیتر و از محلول شماره (۱)، ۱۰ میلی‌لیتر برداشته و درون یک ظرف شیشه‌ای ریخته شد. سپس کاغذهای جاذب ۱۴۵۱ را به ابعاد ۱×۱ سانتی‌متری درآورده و آن‌ها را درون محلول آشکارساز قرار گرفت تا به مدت ۱۰ دقیقه کاملاً آغشته شوند. این کاغذهای آغشته شده به محلول آشکارساز توسط پنس از محلول خارج شده و بر روی کاغذ نجسی که روی یک هیتر با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داشت، گذاشته شد. برای خشک شدن کامل کاغذهای جاذب، به مدت ۳۰ دقیقه روی هیتر قرار داده شد. پس از خشک شدن، کاغذ به رنگ نارنجی درآمد. در نهایت برای صاف و هموار شدن سطح جاذب‌ها، کاغذها

همین دلیل آشکارساز ساخته شده با آرسنازو عملکرد فوق‌العاده‌ای در شناسایی یون اورانیوم محلول در آب از خود نشان داده است. به طوری که تاکنون چنین آشکارساز کیفی‌ای با این ویژگی مناسب طراحی نشده است [۱۲]. به منظور بررسی اثر غلظت محلول نمک اورانیوم بر آشکارساز آرسنازو، محلول‌هایی با غلظت‌های ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر از نمک استات اورانیل تهیه شدند. آشکارساز آرسنازو توانایی شناسایی یون اورانیوم را تا حد تشخیص غلظت ۵۰ ppm دارد (شکل ۱)، زیرا تغییر رنگ کاغذ آشکارساز آرسنازو تا این غلظت قابل رویت و تشخیص است. اما برای غلظت‌های پایین‌تر مثلاً ۲۰ ppm که بررسی شد چندان مناسب نیست زیرا تغییر رنگ محسوسی در آشکارساز مشاهده نشده است.



شکل ۱. توانایی آشکارساز آرسنازو در میزان حد تشخیص اورانیل

با محاسبه میزان انرژی تصاویر مربوط به شکل (۱) با استفاده از نرم‌افزار MATLAB، نشان داده می‌شود که با افزایش شدت رنگ، میزان غلظت یون اورانیوم و انرژی هر تصویر افزایش می‌یابد. این موارد کاملاً مطابق با نتایج تجربی است (شکل ۲).



شکل ۲. گراف انرژی تصویر در برابر شماره تصویر

۳-۲. آشکارسازی کیفی اورانیوم با برموپاداپ

نتایج آزمون شناسایی اورانیوم آشکارساز برموپاداپ نشان داد که مزاحمت‌های یونی در این روش -به جز یون‌های مس و کبالت- تا غلظت ۲۰۰ ppm حذف شدند. البته مزاحمت دو یون مس و کبالت تا غلظت ۱۵۰ ppm حذف شده است. همچنین رنگ کاغذ آشکارساز برموپاداپ با افزودن یون اورانیوم طی مدت زمان حدود ۱ دقیقه به بنفش تغییر رنگ پیدا کرده است [۱۳].

به منظور بررسی اثر غلظت محلول نمک اورانیوم بر آشکارساز

مربوطه در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر درون یک ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری تهیه شد. تمامی محلول‌های حاوی یون‌های فلزی اورانیل (UO_2^{2+})، منیزیم، کلسیم، لیتیم، استرانسیوم، سدیم، پتاسیم، آلومینیوم، بیسموت، باریم، کبالت، مس، روی، آهن، سرب، لانتانیم، نقره، جیوه، نیکل، کادمیوم و منگنز به روش فوق تهیه شدند. محلول‌های با غلظت‌های کمتر نیز توسط رقیق‌سازی نمونه‌ای از محلول‌های فوق با آب مقطر تهیه شدند. محلول‌های غلیظ نیز به روش فوق ساخته شدند. محلول حاوی مخلوط یون‌های فلزی نیز با حل شدن ۱ میلی‌لیتر از هر محلول نمک فلزی در یک ظرف شیشه‌ای تهیه شد.

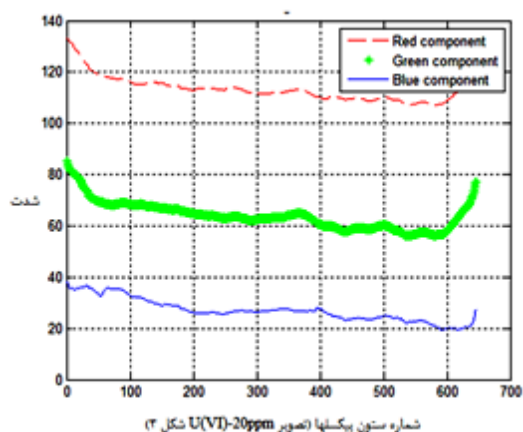
۳. نتایج و بحث

با توجه به مطالعات کتابخانه‌ای بسته‌های آشکارساز مختلفی طراحی شد که در ادامه به نتایج به دست آمده از این آشکارسازها خواهیم پرداخت. چون در این کار از چند روش مختلف برای کارهای مختلف استفاده شده است (مثلاً شدت رنگ، کرویشن دو بعدی، طیف رنگی RGB و ...) طبیعی است که کدهای مختلفی وجود داشته باشد. در مورد نرم‌افزار MATLAB هم به طور کلی دو دسته روش در این نرم‌افزار وجود دارد. یک روش این است که به عنوان یک زبان برنامه‌نویسی خام از فضای editor برای برنامه‌نویسی استفاده شود که در این پروژه چنین کاری انجام شده است. یک روش دیگر آن است که از یک سری برنامه‌ها و کدهای آماده MATLAB استفاده شود که toolbox یا Apps نام دارند. Toolboxها برای کارهای مختلفی مثل شبکه عصبی، پردازش سیگنال، بهینه‌سازی، منطق فازی و ... قابل استفاده هستند.

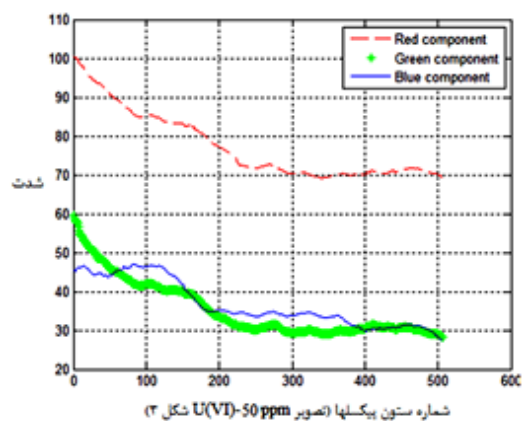
ارزیابی نتایج حاصل از بسته آشکارساز اورانیوم ساخته شده به کمک نرم‌افزار MATLAB و به روش پردازش تصویر انجام شده است، به عبارتی نتایج حاصل از بسته ساخته شده در نرم‌افزار MATLAB مورد ارزیابی قرار گرفت و به این نتیجه رسیدیم که تمام نتایج حاصل از بسته با نتایج حاصل از نرم‌افزار MATLAB همخوانی دارد.

۳-۱. آشکارسازی کیفی اورانیوم با آرسنازو

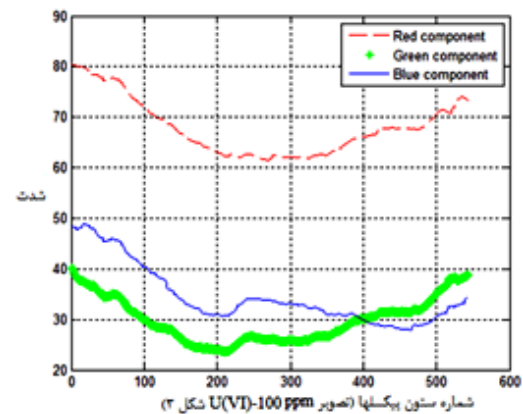
نتایج آزمون شناسایی محلول حاوی یون‌های اورانیوم نشان داده است که این آشکارساز عملکرد بسیار خوبی از خود به نمایش می‌گذارد به طوری که کاغذهای جاذب آغشته شده به محلول آشکارساز حاوی آرسنازو، با دریافت محلول حاوی ۲۰۰ ppm یون اورانیوم تغییر رنگ داده و از رنگ بنفش به رنگ سبز لجنی و یا به اصلاح سبز اعماق جنگل طی مدت زمان حدود ۳ دقیقه تغییر رنگ نشان داد. تمامی ۲۱ یون فلزی دیگر تا غلظت ۲۰۰ ppm نتوانسته‌اند رنگ کاغذهای جاذب را به رنگ سبز لجنی تبدیل کند. بنابراین مزاحمت‌های یونی تقریباً به طور کامل حذف شده‌اند. به



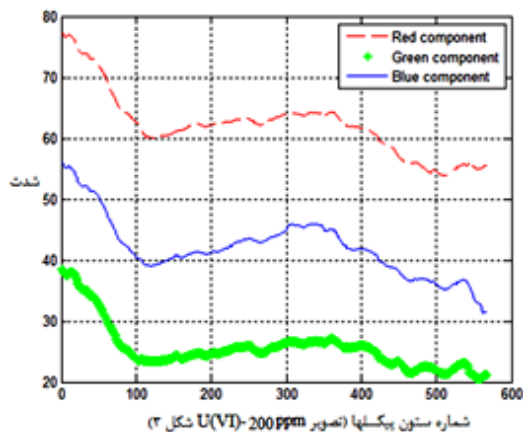
شماره ستون پیکسلا (تصویر U(VI)-20ppm شکل ۳)



شماره ستون پیکسلا (تصویر U(VI)-50 ppm شکل ۳)



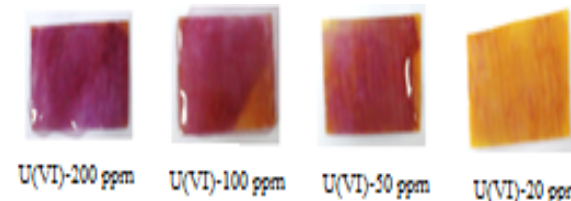
شماره ستون پیکسلا (تصویر U(VI)-100 ppm شکل ۳)



شماره ستون پیکسلا (تصویر U(VI)-200 ppm شکل ۳)

شکل ۴. طیف RGB مربوط به تصاویر شکل (۳)

برموپاداپ، محلول‌هایی با غلظت‌های ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰ و ۲۰ میلی گرم بر لیتر از نمک استات اورانیل تهیه شدند. شکل (۳) توانایی آشکارسازی یون اورانیوم را در آشکارساز ساخته شده از برموپاداپ نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل نمایان است آشکارساز برموپاداپ توانایی شناسایی یون اورانیوم را تا حد تشخیص غلظت ۲۰ ppm دارد، زیرا تغییر رنگ کاغذ آشکارساز برموپاداپ تا این غلظت قابل رویت و تشخیص با چشم غیرمسلح است.



شکل ۳. توانایی آشکارساز برموپاداپ در میزان حد تشخیص اورانیل

همچنین، محلولی شامل مخلوطی از ۲۱ یون مزاحم (هر کدام به حجم ۱ سی‌سی و غلظت ۲۰۰ ppm) و ۱ سی‌سی یون اورانیوم با غلظت ۲۰۰ ppm تهیه و یک‌بار چندین قطره از این محلول را به کاغذ حاوی شناساگر برموپاداپ افزوده و بار دیگر به کاغذ حاوی شناساگر آرسنازو اضافه نمودیم، برای کاغذ حاوی شناساگر برموپاداپ بعد از ۱ دقیقه، رنگ بنفش و برای کاغذ حاوی شناساگر آرسنازو بعد از ۳ دقیقه، رنگ سبز لجنی مشاهده گردید. این بدان معناست که عوامل پوشاننده استفاده‌شده در کاغذ مربوطه، قابلیت حذف تمامی ۲۱ یون مزاحم و تنها شناسایی یون اورانیوم را دارا است.

بر اساس کلیه تصاویر خوانده‌شده در MATLAB و بر اساس شدت رنگ RGB میزان شدت هر یک از سه رنگ سبز، قرمز و آبی به تفکیک مشخص گردید تا بر اساس آن نمونه حاوی اورانیوم مشخص، و ثابت گردید با تغییر غلظت، طیف رنگ‌های سبز، قرمز و آبی تغییر کرده و از یکدیگر قابل تفکیک هستند (شکل ۴).

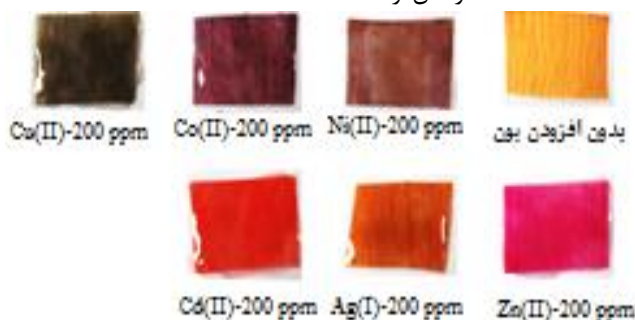
شکل (۴) نشان می‌دهد مطابق انتظار با افزایش غلظت اورانیوم، تصویر به سمت رنگ بنفش تیره می‌رود که به صورت ترکیبی از رنگ‌های قرمز و آبی به طور عمده است. البته شدت رنگ قرمز بیشتر است.

۳-۳. آشکارسازی کیفی یون‌های فلزی با دیتیزون

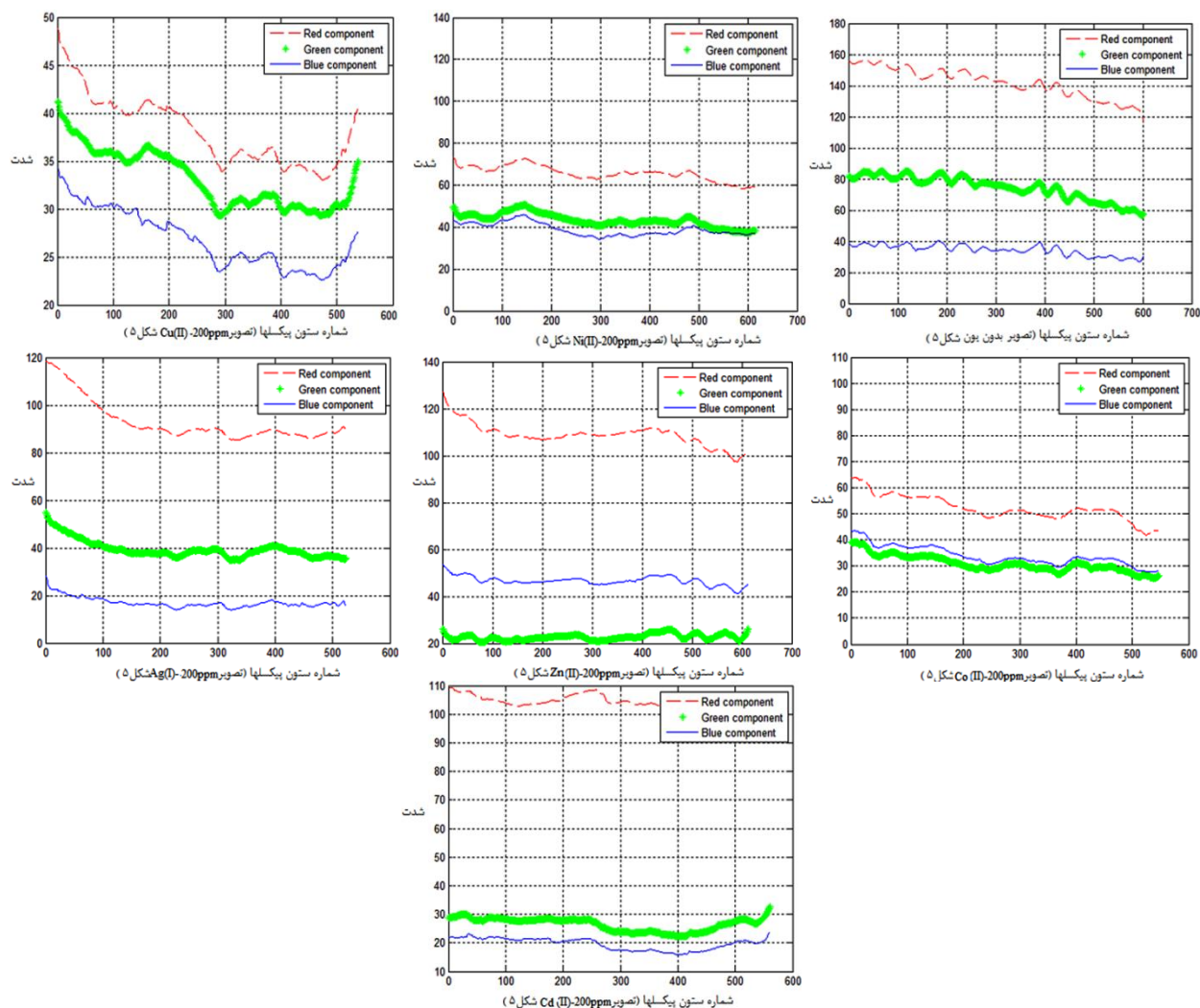
برای تشخیص بعضی مزاحمت‌های یونی جهت آشکارسازی اورانیوم که ممکن است در نمونه مجهول آلوده به اورانیوم وجود داشته باشد یک آشکارساز کیفی یون فلزی نیز به همراه آشکارسازهای اورانیومی آرسنازو و برموپاداپ برای این بسته آشکارساز طراحی شده است.

این رنگ‌ها کمتر از ۱ دقیقه بوده است [۱۴].

در این نمونه نیز طیف رنگ با استفاده از MATLAB برای تصاویر اندازه‌گیری گردید. این طیف‌ها و تغییر رنگ‌های سبز، قرمز و آبی نشان می‌دهد که آشکارساز توانایی جداسازی بر اساس رنگ را دارا است (شکل ۶). طیف‌های رنگ حاصله، تفاوت بین یون‌های فلزی مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۵. عملکرد آشکارساز یون فلزی در غلظت ۲۰۰ ppm از نمک‌های فلزی

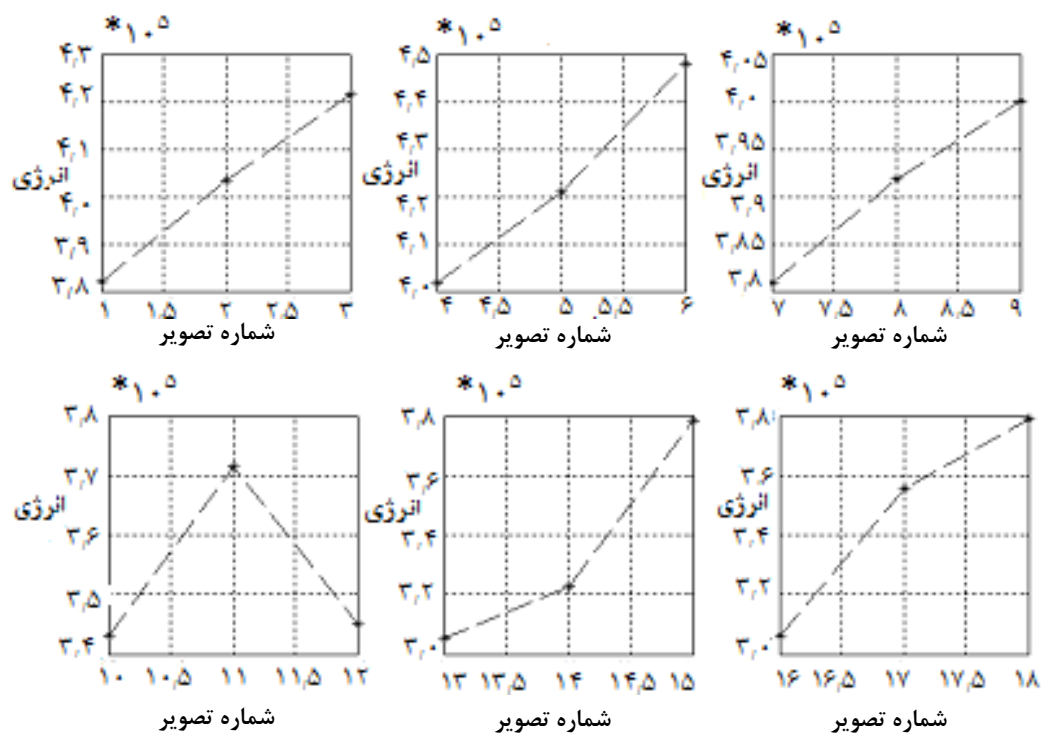


شکل ۶. طیف RGB مربوط به نتایج تجربی شناساگر دیتیزون - تصاویر شکل (۵)



شکل ۷. نتایج تجربی مربوط به تأثیر غلظت محلول یونی بر آشکارساز یون فلزی

در ادامه الگوریتم‌هایی با استفاده از MATLAB طراحی و کد نویسی گردید که به منظور ارزیابی کمی نتایج مربوط به شناساگر دیتیزون استفاده گردید. شناساگر دیتیزون در حضور یون‌های مختلف و با غلظت‌ها و pHهای مختلف در بسته آشکارساز آزمایش شده است. در هر مورد بر اساس شدت رنگ، انتظار می‌رود تا با افزایش غلظت، شدت رنگ افزایش یابد (شکل ۷)، همچنین $pH=9$ در مقایسه با ۵ و ۱۲ از شدت رنگ بالاتری برخوردار باشد (شکل ۹). بر اساس موارد مذکور در مقدمه، کلیه تصاویر در شکل‌هایی که در زیر آورده شده است، در MATLAB بارگزاری شده و پس از تبدیل به حالت gray scale مقدار انرژی آن‌ها محاسبه گردید. برای هر یون فلزی این کار به طور جداگانه انجام شده و برای غلظت‌ها و pHهای مختلف نمودار مربوط به انرژی که معرف شدت رنگ است، ترسیم گردید. در ادامه نتایج و گراف‌ها آورده شده است که بین گراف‌های حاصله و نتایج کیفی تطابق قابل توجهی را نشان می‌دهد.

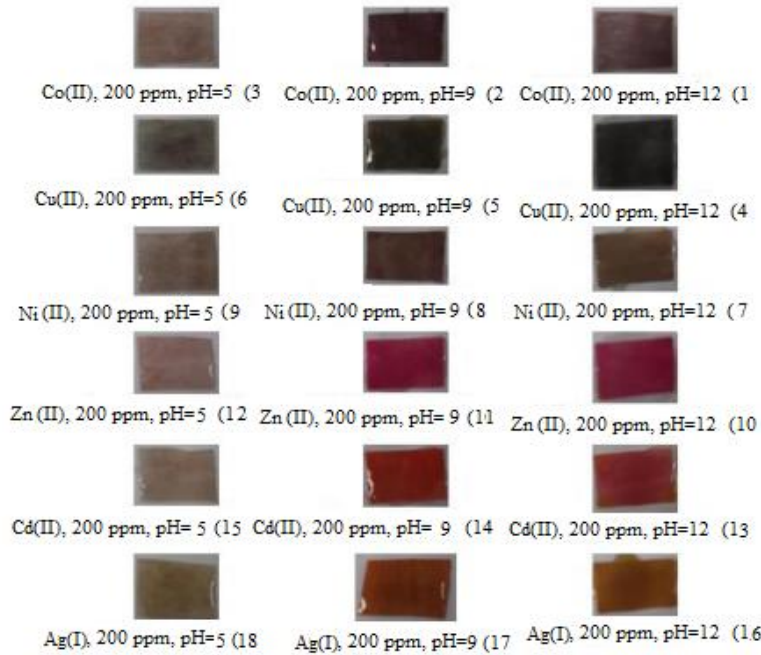


شکل ۸. نمودار انرژی مربوط به شکل (۷) برای هر یون فلزی در غلظت‌های مختلف

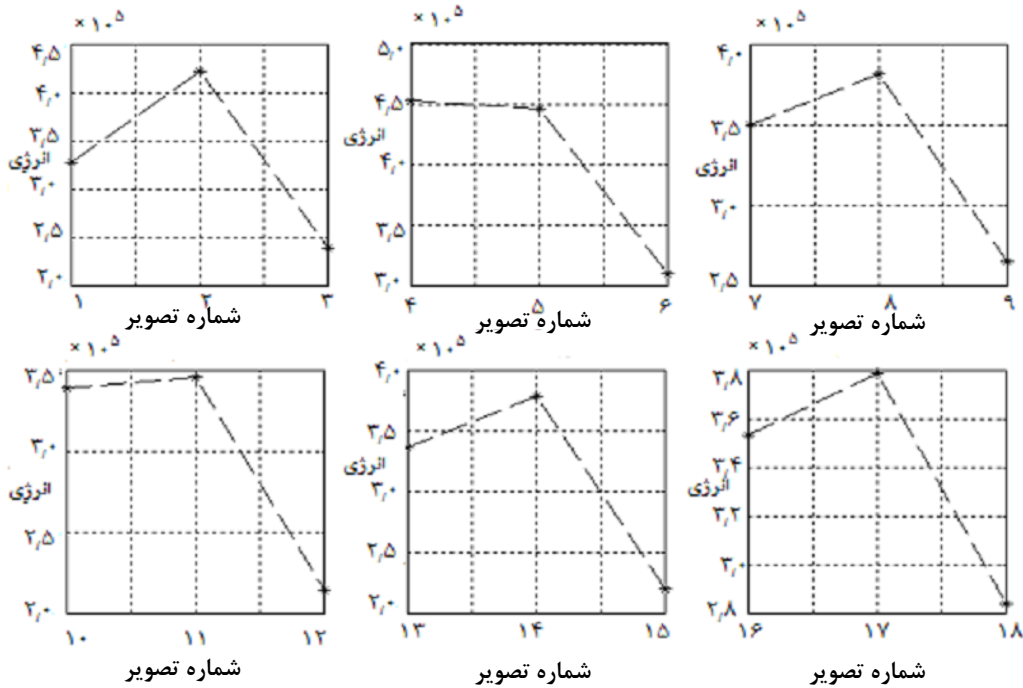
در حضور اورانیوم با غلظت‌های مختلف، برنامه‌نویسی صورت گرفت تا بر اساس شدت رنگ، معادله مربوط به آن‌ها مشخص گردد. در شکل (۱۱) تصاویر مربوط به طیف رنگ‌های برموپاداپ به ازای غلظت‌های مختلف آورده شده است. این تصاویر در MATLAB خوانده شده و شدت رنگ آن‌ها محاسبه گردید. سپس انرژی هر تصویر محاسبه شده و در مقابل شماره تصویر پلات گردید.

گراف (شکل ۸) نشان می‌دهد که در همه موارد به جز شکل‌های (۱۰-۱۲)، نمونه سوم در هر سطر دارای شدت رنگ و انرژی بیشتری است.

گراف (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که در اغلب موارد نمونه وسط در هر سطر دارای شدت رنگ و انرژی بیشتری است. در ادامه بر روی طیف رنگ‌های مربوط به آشکارسازهای برموپاداپ و آرسنازو



شکل ۹. نتایج تجربی مربوط به تأثیر pH بر نحوه عملکرد آشکارساز یون فلزی



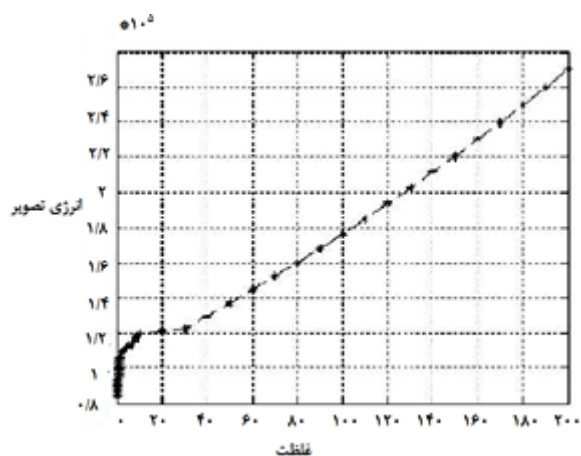
شکل ۱۰. نمودار انرژی مربوط به شکل (۹) برای هر یون فلزی در pH مختلف

غلظت (ppm)	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۴۰	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۶۵	۰/۷۰	۰/۷۵	۰/۸۰	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۹۵	۱	۲	۳	۴	۵	
رنگ																									

غلظت (ppm)	۶	۷	۸	۹	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۰	
رنگ																									

شکل ۱۱. شدت رنگ برای آشکارساز برموپاداپ به ازای غلظت‌های مختلف

به این مرحله پیش آماده‌سازی داده‌ها (Preconditioning) گفته می‌شود.



شکل ۱۴. نمودار انرژی تصویر در برابر غلظت برای برمویاداپ پس از اعمال تصحیح

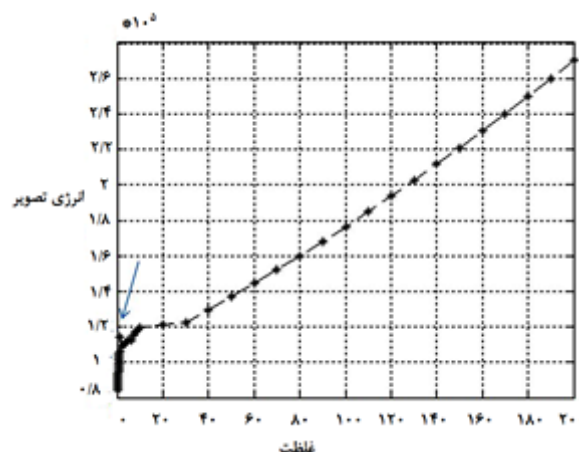
در ادامه معادلات خطوط برازش شده برای گراف‌های مختلف و در بازه‌های مختلف آورده شده است. لازم به ذکر است که با توجه به گراف‌های به‌دست‌آمده، امکان برازش یک رابطه خطی به دلیل تغییرات شدید و ناگهانی غلظت وجود ندارد. لذا پیشنهاد می‌گردد معادلات در سه دسته تقسیم‌بندی شوند که شامل معادله جذب در برابر غلظت، معادله انرژی تصویر در برابر غلظت و انرژی تصویر در برابر جذب هستند. در هر دسته معادله (۱) مربوط به غلظت‌های زیر ۱ ppm، معادله (۲) بین ۱-۱۰ ppm و معادله (۳) بین ۱۰-۲۰۰ ppm است.

- (1) $A=10.0842 * \text{ppm} + 2.4211$
- (2) $A=5.0000 * \text{ppm} + 13.8000$
- (3) $A=2.5907 * \text{ppm} + 53.5126$
- (1) $E=10^4 * (2.4640 * \text{ppm} + 8.2664)$
- (2) $E=10^5 * (0.0135 * \text{ppm} + 1.0608)$
- (3) $E=10^4 * (0.087 * \text{ppm} + 9.1867)$
- (1) $E=10^4 * (0.02440 * A + 7.6772)$
- (2) $E=10^5 * (0.0027 * A + 1.0237)$
- (3) $E=10^4 * (0.0336 * A + 7.3849)$

موارد ذکر شده به‌طور مشابه برای آشکارساز آرسنازو نیز به انجام رسید که نتایج آن در ادامه آورده شده است (شکل ۱۵).

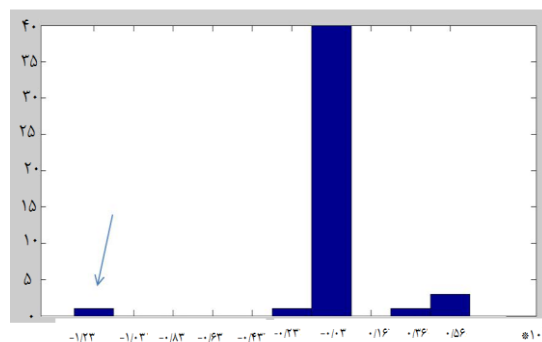
غلظت (ppm)	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۴۰	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۶۵	۰/۷۰	۰/۷۵	۰/۸۰	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۹۵	۱	۲	۳	۴	۵	
رنگ																									

غلظت (ppm)	۶	۷	۸	۹	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۰	
رنگ																									



شکل ۱۲. نمودار انرژی تصویر در برابر غلظت برای برمویاداپ

همان‌گونه که در شکل (۱۲) دیده می‌شود و با پیکان نیز مشخص شده است، مقادیری وجود دارند که خارج از روند طبیعی دیده می‌شوند. بنابراین برای اینکه در نهایت معادلات صحیحی به دست آیند، آن‌ها باید تصحیح گردند. برای این کار از روش واریانس مشتق استفاده شده است. ابتدا مشتق نقاط محاسبه شده است و مقادیری که دارای واریانس زیادی هستند، به‌طور خودکار شناسایی شده‌اند. پس از آن میانگین مقادیر قبلی و بعدی جایگزین شده‌اند. در شکل (۱۳) هیستوگرام مربوط به واریانس مشتق نشان داده شده است و مقدار خارج از روند نیز با پیکان مشخص شده است.



شکل ۱۳. هیستوگرام واریانس مشتق برای شدت رنگ برمویاداپ

پس از اعمال تصحیح، گراف به صورت شکل (۱۴) در می‌آید.

شکل ۱۵. شدت رنگ برای آشکارساز آرسنازو به‌زای غلظت‌های مختلف

انرژی تصویر در برابر جذب هستند. در هر دسته معادله اول مربوط به غلظت‌های زیر ۱ ppm، معادله دوم بین ۱-۱۰ ppm و معادله

در اینجا نیز معادلات به‌دست‌آمده برای آشکارساز آرسنازو، شامل معادله جذب در برابر غلظت، معادله انرژی تصویر در برابر غلظت و



شکل ۱۷. نمای پشت بسته آشکارساز

سوم بین ۲۰۰-۱۰ ppm است.

$$(1) A=9.0386 * \text{ppm} + 1.5596$$

$$(2) A=3.9424 * \text{ppm} + 7.8667$$

$$(3) A=1.1937 * \text{ppm} + 35.6684$$

$$(1) E=10^5 * (1.9337 * \text{ppm} - 0.0837)$$

$$(2) E=10^5 * (0.0661 * \text{ppm} + 1.7845)$$

$$(3) E=10^5 * (0.0050 * \text{ppm} + 2.3831)$$

$$(1) E=10^4 * (2.1373 * A - 4.1612)$$

$$(2) E=10^5 * (0.0167 * A + 1.6549)$$

$$(3) E=10^5 * (0.0042 * A + 2.2346)$$

۴-۳. طراحی بسته آشکارساز

به منظور سهولت استفاده یک فرد از بسته آشکارساز طراحی آن بر روی یک کاغذ مقوا با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر صورت گرفته است. در این طراحی مقوایی به ابعاد ۶×۱۰ سانتی‌متر بریده شده به طوری که کاغذهای صافی آغشته به آشکارسازهای اورانیوم حاوی شناساگرهای آرسنازو و برموپاداپ در یک سمت آن با چسب مایع چسبانده شدند. کاغذ صافی آغشته شده به محلول آشکارسازهای آرسنازو و برموپاداپ چون برای شناسایی اورانیوم به کار می‌رود در کنار هم قرار گرفتند و به گونه‌ای که رنگ ناشی از شناسایی یون اورانیوم برای هر کدام در قسمت بالای آن نشان داده شده است (مطابق با شکل‌های ۱۶ و ۱۷). ضمن اینکه کاغذ صافی آغشته به محلول آشکارساز یون فلزی مجزا از آشکارسازهای اورانیوم است.

همچنین شکل‌های (۱۶) و (۱۷) دو نمای جلو و پشت بسته آشکارساز ساخته شده را نشان می‌دهد. مقوای به کاررفته از وسط تا خورده است تا فضای کمتری را اشغال کند. این کار برای دو منظور انجام گرفته است اولاً اینکه اندازه آشکارساز به گونه‌ای طراحی شود که در جیب فرد به راحتی جای گیرد و ثانیاً مقیاس آن طوری باشد که نه خیلی کوچک باشد که قابل دیدن نباشد و نه خیلی بزرگ که جاگیر باشد.



شکل ۱۶. نمای جلوی بسته آشکارساز

۴. نتیجه‌گیری

در این پروژه، آشکارساز حاوی شناساگر آرسنازو (III) (طی مدت زمان ۳ دقیقه) نسبت به برموپاداپ (طی مدت زمان ۱ دقیقه) توانایی بهتری جهت آشکارسازی یون اورانیوم از خود نشان داده است، زیرا تمامی ۲۱ مزاحمت یونی موجود به طور کامل حذف شدند. علاوه بر این، آشکارساز یون‌های فلزی با شناساگر دیتیزون توانایی تشخیص ۶ یون کبالت، روی، مس، نیکل، کادمیوم و نقره را تا غلظت ۵۰ ppm با رنگ‌های متفاوت دارد. در این تحقیق به جای استفاده از بسترهای سیلیکاژل نانو متخلخل [۱۳]، از کاغذ صافی شماره ۱۴۵۱ به عنوان بستر آشکارسازی استفاده شده است. از مزایای استفاده از کاغذ ۱۴۵۱ می‌توان به مواردی نظیر توجه اقتصادی، عدم وجود مراحل اضافی جهت آماده‌سازی بستر، در دسترس بودن مواد اولیه، عدم نیاز به مراحل استخراج، عدم نیاز به مراحل پیش تغلیظ، عدم نیاز به آنالیز دستگاهی، سهولت انجام کار با کاغذ، پایداری بالای مواد استفاده‌شده، وجود حفرات کمتر از ۱/۵ میکرون، عدم نیاز به فرد متخصص جهت کار با بسته آشکارساز، نسبت سطح به حجم بسیار بالا، نفوذپذیری و تراوایی زیاد، حد تشخیص مناسب، سرعت روش، عاری بودن روش از مزاحمت یون‌های مداخله‌گر و بررسی محدوده وسیعی از غلظت‌ها اشاره نمود. ارزیابی‌های کمی انجام شده بر روی نتایج آزمایشگاهی بر اساس روش‌های پردازش تصویر با MATLAB نیز حکایت از انطباق بین نتایج تجربی با نتایج ارزیابی کمی دارد.

۵. مراجع‌ها

- [1] Ghaemmaghami, M.; Yamini, Y.; Amanzadeha, H.; Hosseini Monjezib, B. "Electrophoretic Deposition of Ordered Mesoporous Carbon Nitride on a Stainless Steel Wire as a High-Performance Solid Phase Microextraction Coating"; Chem. Commun. 2018, 54, 507-510.
- [2] El-Bindary, A. A.; Mohamed, G. G.; El-Sonbati, A. Z.; Diab, M. A.; Hassan, W. M. I.; Morgan, Sh. M.; Elkholy, A. K. "Geometrical Structure, Potentiometric, Molecular Docking and Thermodynamic Studies of Azo Dye Ligand and its Metal Complexes"; J. Mol. Liq. 2016, 218, 138-149.

- [10] Kalinich, J. F.; McClain, D. E. "Development of a Colorimetric Test for Uranium"; USA, 2005.
- [11] Golmohammadi, H.; Rashidi, A.; Safdari, S. J. "Simple and Rapid Spectrophotometric Method for Determination of Uranium (VI) in Low Grade Uranium Ores using Arsenazo (III)"; Chem. Chem. Technol. 2012, 6, 245-249.
- [12] Trigo-López, M.; Muñoz, A.; Ibeas, S.; Serna, F.; García, F. C.; García, J. M. "Colorimetric Detection and Determination of Fe(III), Co(II), Cu(II), Sn(II) and U(VI) in Aqueous Media by Acrylic Polymers with Pendant Terpyridine Motifs"; Sensors and Act. B: Chem. 2016, 226, 118-126.
- [13] Shahrabi Farahni, H.; Najafi, M.; Behbahani, M. "Monitoring of Uranium (VI) in Water Samples after Preconcentration with Modified Nanoporous Silica and Color Reaction by Br-PADAP"; Adv. Defence Sci. & Technol. 2014, 5, 71-79.
- [14] Gürkan, R.; Ulusoy, H. İ.; Akçay, M. "Surfactant Enhanced-Spectrophotometric Determination of Uranium (VI) at Trace Levels by Using Eriochrome Black T as a Chelating Agent"; Eclét. Quím. 2011, 36, 37-46.
- [15] Leo, W. R. "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments"; 1994, Springer.
- [16] Rosenfeld, A. "Picture Processing by Computer"; New York, Academic Press, 1969
- [17] Gonzalez, R. "Digital Image Processing"; 3rd Pearson Hall, 2008.
- [3] Bleise, A.; Danesi, P.; Burkart, W.; "Properties, Use and Health Effects of Depleted Uranium (DU): A General Overview"; J. Environ. Radioact. 2003, 64, 93-112.
- [4] Curković, M.; Sipos, L.; Puntarić, D.; Dodig-Čurković, K.; Pivac, N.; Kralik, K.; "Detection of Thallium and Uranium in Well Water and Biological Specimens of an Eastern Croatian Population"; Arh. Hig. Rada. Toksikol., 2013, 64, 385-94.
- [5] Hixon, A. E.; DiPrete, D. P.; DeVol, T. A. "Development of a Colorimetric Test for Quantification of Uranium in Drinking Water"; J. Radioanal. Nucl. Chem. 2013, 298, 419-427.
- [6] Liu, W.; Dai, X.; Bai, Z.; Wang, Y.; Yang, Z.; Zhang, L.; Xu, L.; Chen, L.; Li, Y.; Gui, D.; Diwu, J.; Wang, J.; Zhou, R.; Chai, Z.; Wang, S. "Highly Sensitive and Selective Uranium Detection in Natural Water Systems Using a Luminescent Mesoporous Metal-Organic Framework Equipped with Abundant Lewis Basic Sites: A Combined Batch, X-ray Absorption Spectroscopy, and First Principles Simulation Investigation"; Environ. Sci. Technol. 2017, 51, 3911-3921.
- [7] Osman, A. A. A.; Geipel, G.; Barkleit, A.; Bernhard, G. "Uranium (VI) Binding Forms in Selected Human Body Fluids: Thermodynamic Calculations versus Spectroscopic Measurements"; Chem. Res. Toxicol. 2015, 28, 238-247.
- [8] Ivanovich, M.; Fröhlich, K.; Hendry, M. J. "Uranium-Series Radionuclides in Fluids and Solids, Milk River Aquifer, Alberta, Canada"; Appl. Geochem. 1991, 6, 405-418.
- [9] Shen, C. C.; Lin, H. T.; Chu, M. F.; Yu, E. F.; Wang, X.; Dorale, J. A. "Measurements of Natural Uranium Concentration and Isotopic Composition with Permil-Level Precision by Inductively Coupled Plasma-Quadrupole Mass Spectrometry"; Geochem., Geophys., Geosystems 2006, 7, 1-10.