

مجله علمی-ترویجی «علوم و فناوری های دانش خرد»  
سال دوم، شماره ۱ (شماره پیاپی ۳)، بهار ۱۳۹۰: ص ۱۱-۱۸

## طراحی سامانه قابل حمل اندازه گیری اورانیوم در آب به روش طیف نورسنجی

مصطفی نجفی\*، سید جواد حسینی ده موسی

دانشگاه جامع امام حسین(ع)، دانشکده و پژوهشکده علوم پایه، گروه شیمی

(دریافت: ۸۹/۰۸/۱۶، پذیرش: ۹۰/۰۲/۱۸)

### چکیده

در این کار تحقیقاتی به منظور طراحی سامانه قابل حمل اندازه گیری اورانیوم به روش طیف نورسنجی، معرف های رنگ زای مختلف مورد شناسایی و بررسی قرار گرفته و معرف ۲- (۵- برم-۲- پیریدیل آزو)-۵- دی اتیل آمینو فنل (Br-PADAP)، به عنوان بهترین معرف انتخاب شد. در ادامه، عوامل مؤثر بر جذب کمپلکس اورانیل - Br-PADAP شامل pH، زمان، اثر عامل پوشاننده، دما و غلظت اورانیوم، بررسی و بهینه شدند. با استفاده از نتایج به دست آمده از بررسی های فوق، سامانه ای برای اندازه گیری اورانیوم در آب برای تعیین طیف نورسنجی اورانیوم به صورت میدانی طراحی گردید. نتایج به دست آمده نشان داد این سامانه توانایی تشخیص اورانیوم در نمونه آب های طبیعی تا حد تشخیص ۰/۵ ppm را دارا می باشد.

**کلیدواژه ها:** اورانیوم، طیف نورسنجی، کیت آشکارساز، سامانه قابل حمل، اندازه گیری

## Design of a Portable System for Spectrophotometric Determination of Uranium in Water

M. Najafi\*, J. Hosseini Dehmusa

Faculty of Basic Science, Department of Chemistry, Imam Hossein University

### Abstract

*In this work, sensitive chromogenic reagents were investigated to design a spectrophotometric portable system for determination of uranium in natural waters. It is found that the 2-(5-bromo-2-pyridylazo)-5-diethylaminophenol (Br-PADAP) is the best reagent for this purpose. The effect of various parameters on absorbance of Br-PADAP/Uranium complex such as pH, masking agent, temperature, time, and uranium concentration were studied and optimized. Based on results obtained, a spectrophotometric portable system for determination of uranium in the field was designed. The results show that the system is able to determine uranium up to 0.5 ppm.*

**Keywords:** Uranium, Spectrophotometry, Detection kit, Portable System, Determination

\* Corresponding author E-mail: mnajafi2000@yahoo.com

## ۱. مقدمه

اندازه‌گیری اورانیوم به دلایل زیست محیطی همواره از دغدغه‌های محققین مراکز علمی، نظامی و سازمان‌های دولتی مرتبط با سلامت جامعه و محیط زیست بوده است. اورانیوم تهی شده<sup>۱</sup> که فرآورده جانبی غنی‌سازی اورانیوم است، به دلیل خصوصیات منحصر به فرد، در صنایع مختلفی از جمله صنایع نظامی برای تهیه گلوله‌های نافذ و در صنایع هوایی به عنوان وزنه تعادل در انتهای هواپیما مورد استفاده قرار می‌گیرد و تعیین آن به عنوان یکی از منابع ورود اورانیوم به طبیعت که می‌تواند توسط عواملی مانند وزش باد به مناطق دورتر منتقل شود [۱]، از اهمیت زیادی برخوردار است. بر همین اساس، تا کنون روش‌های شیمیایی و فیزیکی متعددی برای ردیابی و اندازه‌گیری اورانیوم در محیط‌های مختلف مانند آب، خاک، گیاهان و محیط‌های بیولوژیک معرفی شده و مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله بهترین این روش‌ها، می‌توان به روش تجزیه با فعال‌سازی نوترون [۲]، تجزیه فسفرسانس سینتیکی [۳، ۴]، طیف‌سنجی آلفا [۵]، طیف‌سنجی با سوسوزن مایع [۶] و طیف‌سنج جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS) [۷] اشاره کرد. وجه مشترک همه این روش‌ها، نیاز به مراحل پیچیده و زمان زیاد جهت تهیه نمونه و به‌کارگیری تجهیزات گران‌قیمت برای آنالیز است.

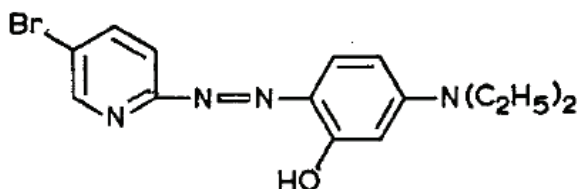
خصوصیات روش ایده‌آل اندازه‌گیری اورانیوم شامل موارد زیر می‌باشد: ۱. سرعت و صحت ۲. استفاده از مواد شیمیایی قابل دسترس ۳. عدم نیاز به مراحل پیچیده تهیه نمونه ۴. عدم تولید فاضلاب شیمیایی زیاد ۵. عدم نیاز به تجهیزات دستگاهی پیچیده و پرهزینه ۶. آموزش آسان شیوه اجرا ۷. در صورت نیاز

جدول ۱. معرف‌های مختلف برای اندازه‌گیری طیف‌نورسنجی اورانیوم

مراجع	حد تشخیص (ppm)	دامنه خطی (ppm)	ضریب جذب مولی (L/mol/cm)	pH	طول موج (nm)	نام لیگاند ( معرف رنگزا)
۱۱	۰/۲	۲-۳۲	-	۱/۵	۴۲۵	Thiocyanate
۱۲	۰/۰۵	۲/۵-۹	-	۶/۵-۸/۵	۳۹۵	Dibenzoylmethane
۱۳	-	۰/۴-۲	-	-	۳۷۵	Thiocyanate in Butyl cellosolve-Methyl isobutyl keton
۲۰ و ۱۹	۱	۰-۱۰	$1/45 \times 10^4$	۷-۸	۵۹۵	Arsenazo III
۱۵	-	۲-۴۰	$1/50 \times 10^4$	۶/۵-۹	۳۸۰	8-Quinolinol
۲۱	۱/۶	۰-۷	$3/87 \times 10^4$	۸/۲	۵۶۵	PADAP
۲۵ تا ۲۲	-	۰-۴/۲	$7/4-9/1 \times 10^4$	۸/۲-۸/۵	۵۶۴	Br-PADAP
۱۷	۰/۵	۰-۲۰	$9/9 \times 10^4$	۴/۸	۶۲۵	Chromazural S and cetylpyridinium Bromid
۱۸	-	۵-۶۰	$5/3 \times 10^4$	-	۳۹۸	Meloxicam

قابلیت استفاده میدانی [۸]. یافتن روشی قابل اعتماد با خصوصیات فوق برای اندازه‌گیری مقادیر بسیار کم اورانیوم در آب و غبارات موجود در محیط بر اساس فناوری‌ها و تجهیزات موجود، یکی از نیازهای نیروهای مسلح می‌باشد. بررسی و مقایسه روش‌های فیزیکی و شیمیایی موجود نشان می‌دهد اگرچه روش‌هایی مانند ICP-MS به دلیل صحت و کارایی بالا برای انواع نمونه‌ها به‌عنوان روش برتر و منتخب محسوب می‌گردد، اما استفاده از آن به‌عنوان روشی برای تهیه سامانه قابل حمل با محدودیت‌های جدی روبرو بوده و عملاً غیرممکن است. روش‌های مبتنی بر اندازه‌گیری تابش نیز به دلیل هزینه بسیار بالا و مشکلات مربوط به تهیه از خارج کشور، به‌عنوان سامانه‌ای که بتوان آن‌ها را به‌صورت انبوه مورد استفاده قرار داد، نمی‌توانند پاسخگوی نیازهای نیروهای مسلح باشند. برای آزمایش سریع نمونه‌ها به‌ویژه در آنالیزهای میدانی، روش‌های آشکارسازی رنگ‌سنجی یا طیف‌نورسنجی از جمله روش‌هایی هستند که بیشتر از سایر روش‌ها برای این منظور عملی می‌باشند [۸]. بررسی منابع نشان می‌دهد برای روش‌های طیف‌نورسنجی تعیین اورانیوم، لیگاندهای متفاوتی معرفی شده‌اند [۹-۱۸]. جدول (۱) خصوصیات تجزیه‌ای برخی از مهم‌ترین این لیگاندها یا معرف‌های رنگ‌زا را نشان می‌دهد. ۳- (۲-آرسنوفنیل‌آزو)-۵،۴-دی‌هیدروکسی-۷،۲-نفتالن‌دی‌سولفونیک‌اسید<sup>۲</sup> (آرسنازو III) [۱۷، ۱۸] و Br-PADAP و برخی مشتقات آن‌ها از جمله پرکاربردترین این معرف‌ها در توسعه روش‌های پیش‌تغلیظ و تعیین مقادیر بسیار کم اورانیوم می‌باشند [۱۹-۲۴].

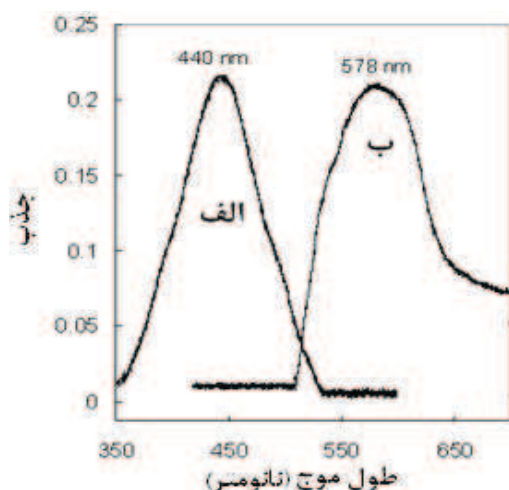
محیط [۲۴،۲۰] به‌عنوان بهترین گزینه برای تعیین مستقیم اورانیوم بدون نیاز به مراحل جداسازی و استخراج انتخاب شد. سپس مراحل مورد نیاز برای اندازه‌گیری اورانیوم توسط دستگاه طیف‌نورسنج آزمایشگاهی و نورسنج تهیه شده برای سامانه قابل حمل انجام شد.



شکل ۱. ساختار Br-PADAP [۲۲]

### ۳-۱. تعیین اورانیوم با Br-PADAP توسط دستگاه طیف‌نورسنج

طیف جذبی کمپلکس اورانیل ppm ۱ با Br-PADAP حاوی بافر تری‌اتانول آمین با pH=۱۰ در مقایسه با طیف Br-PADAP در شکل (۲) نشان داده شده‌اند. طول موج ماکزیمم جذب کمپلکس (۵۷۸nm) در مقایسه با ماکزیمم جذب محلول Br-PADAP (۴۴۰nm) حدود ۱۴۰ نانومتر جابجا شده است. برای جلوگیری از هرگونه تداخل، جذب کمپلکس در سایر آزمایش‌ها در مقابل جذب محلول شاهد حاوی معرف رنگ‌زا در طول موج ۵۷۸ نانومتر اندازه‌گیری شد.



شکل ۲. طیف جذبی الف) برم‌پاداپ ب) کمپلکس آن با اورانیوم ppm ۱ بافر تری‌اتانول آمین pH=۱۰

در این کار تحقیقاتی پس از انتخاب مناسب‌ترین معرف رنگ‌زا برای تعیین اورانیوم در محیط‌های آبی، امکان‌سنجی عملی به‌کارگیری آن معرف با روش طیف‌نورسنجی و طراحی سامانه قابل حملی که توسط آن آزمایش سریع نمونه‌ها برای آلوده بودن به اورانیوم قابل تشخیص باشد انجام گرفته است. از آنجا که خصوصیات شیمیایی اورانیوم ضعیف شده با اورانیوم در حالت طبیعی یکسان است، این سامانه توانایی آشکارسازی اورانیوم ضعیف شده را نیز دارا می‌باشد.

## ۲. بخش تجربی

### ۲-۲. روش کار

#### ۲-۲-۱. تعیین طیف‌نورسنجی اورانیوم با Br-PADAP

کمپلکس اورانیوم با برم‌پاداپ با اضافه کردن محلول‌های با غلظت مشخص از اورانیوم و Br-PADAP در بافر تری‌اتانول آمین با pH=۱۰ تهیه شده و طیف جذبی آن گرفته شد. سپس پارامترهایی مانند pH، زمان، اثر عامل پوشاننده، دما و غلظت اورانیوم به‌عنوان عوامل موثر بر جذب بررسی و بهینه شدند. جذب محلول‌ها در برابر محلول برم‌پاداپ به‌عنوان محلول شاهد اندازه‌گیری شد.

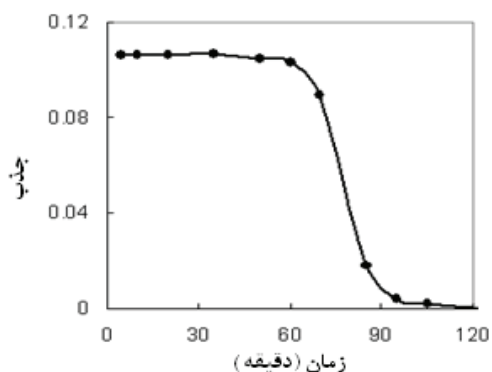
#### ۲-۲-۲. طراحی سامانه قابل حمل تعیین اورانیوم

پس از بهینه‌سازی عوامل موثر بر جذب کمپلکس اورانیل با Br-PADAP، الزامات سامانه قابل حمل برای تعیین اورانیل مشخص شده و بر اساس این الزامات، تجهیزات مورد نیاز سامانه تهیه شدند. برای مشخص شدن کارایی روش و سامانه تهیه شده، تعدادی نمونه آب از منابع مختلف تهیه و به‌صورت دستی به اورانیوم آلوده شده و درصد بازیابی اورانیوم مورد بررسی قرار گرفت.

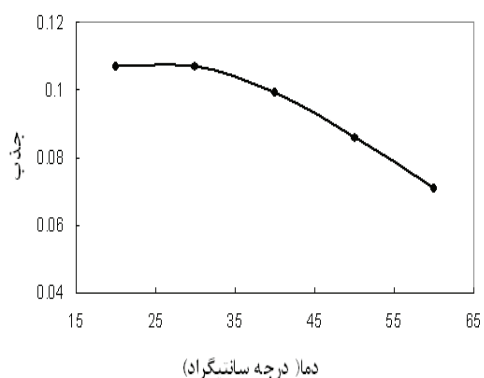
## ۳. نتایج و بحث

پس از بررسی منابع مختلف و معرف‌های رنگ‌زای پیشنهاد شده برای تعیین اورانیوم به روش رنگ‌سنجی که برخی از مهم‌ترین آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده‌اند، معرف Br-PADAP (شکل (۱)) به دلیل پایداری محلول، ضریب جذب مولی بسیار خوب (حدود ۱۰۰۰۰۰) در طول موج ۵۷۸nm و به دنبال آن، حد تشخیص بسیار کم و تأثیرپذیری پایین نسبت به سایر معرف‌های رنگ‌زا در مقابل یون‌های تداخل‌کننده موجود در

داده شده است. همان گونه که در شکل (۵) مشخص است دما تا ۳۰ درجه اثر محسوسی بر جذب ندارد، ولی از این دما به بعد کاهش جذب بر اثر تخریب احتمالی کمپلکس مشاهده می شود. بنابراین دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه برای اندازه گیری اورانیوم با برم پاداپ مناسب می باشد.



شکل ۴. پایداری کمپلکس اورانیل-برم پاداپ نسبت به زمان محلول ppm ۰/۵ از اورانیوم با بافر تری اتانول آمین pH=۱۰ و ۳ میلی لیتر EDTA ۰/۰۱ مولار



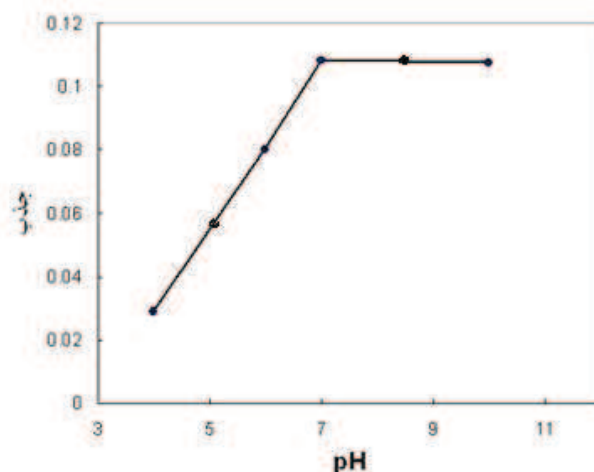
شکل ۵. اثر دما بر جذب کمپلکس اورانیل-برم پاداپ محلول ppm ۰/۵ از اورانیوم با بافر تری اتانول آمین pH=۱۰ و ۳ میلی لیتر EDTA ۰/۰۱ M

#### ۳-۱-۴. رابطه بین جذب و غلظت

برای بررسی رابطه بین جذب و غلظت (نمودار کالیبراسیون) محلول هایی بین ۰/۰۵ تا ۱۰ ppm از اورانیوم با بافر تری اتانول آمین pH=۱۰ و ۳ میلی لیتر EDTA ۰/۰۱ M برای تشکیل کمپلکس مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۶) منحنی کالیبراسیون به دست آمده را نشان می دهد. بررسی منحنی مذکور نشان می دهد که در شرایط مورد مطالعه، رابطه بین غلظت اورانیوم و جذب کمپلکس از ۰/۱ تا ۸ ppm خطی است.

#### ۳-۱-۱. اثر pH

منحنی های جذب کمپلکس اورانیل-Br-PADAP با غلظت ۰/۵ ppm تهیه شده در pH های مختلف توسط بافر تری اتانول آمین (برای pH های قلیایی) و بافر فسفات (برای pH های اسیدی) بررسی شد. شکل (۳) نمودار جذب در مقابل pH به دست آمده از این بررسی را نشان می دهد. با توجه به این که بهترین جذب برای کمپلکس بین pH های ۷ تا ۱۰ به دست آمد، از این محدوده pH برای اندازه گیری های بعدی استفاده شد. داده های حاصل از منابع علمی نیز این یافته را تأیید می کنند [۲۵].



شکل ۳. اثر pH بر جذب کمپلکس اورانیل برم پاداپ، غلظت ppm ۰/۵، بافرهای تری اتانول آمین و فسفات و ۳ میلی لیتر EDTA ۰/۰۱ مولار

#### ۳-۱-۲. پایداری کمپلکس

برای بررسی پایداری کمپلکس، جذب محلول کمپلکس اورانیل-Br-PADAP با غلظت ۰/۵ ppm در بافر تری اتانول آمین با pH=۱۰ در زمان های مختلف اندازه گیری شد که نتایج آن در شکل (۴) نشان داده شده است. همان گونه که از شکل (۴) مشخص است، پس از گذشت حدود ۶۵ دقیقه جذب تقریباً ثابت بوده ولی بعد از آن کاهش یافته و بعد از ۱۰۰ دقیقه تقریباً به صفر می رسد.

#### ۳-۱-۳. اثر دما

اثر دما بر جذب محلول ۰/۵ ppm کمپلکس جذب کمپلکس اورانیل-Br-PADAP در محدوده دمایی ۲۰ تا ۸۰ درجه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به دست آمده در شکل (۵) نشان

**جدول ۲.** اثر یون‌های مزاحم در اندازه‌گیری ppm ۰/۵ اورانیوم با Br-PADAP با بافر تری‌اتانول‌آمین ۱۰ pH و ۳ میلی‌لیتر ۰/۰۱M EDTA (نتایج، میانگین سه بار اندازه‌گیری می‌باشد)

یون اضافه شده	نسبت یون مزاحم به اورانیل	% بازیابی اورانیوم
Ca+2	۱۵۰	۹۷ ± ۱/۵
Pb+2	۱۵۰	۱۰۲ ± ۱
Al+3	۱۵۰	۱۰۰ ± ۲
Cd+2	۱۵۰	۹۶ ± ۱/۸
Cu+2	۱۵۰	۱۰۱ ± ۱/۵
Co+2	۱۰۰	۱۰۴ ± ۱
Ni+2	۱۰۰	۹۶ ± ۲
Zn+2	۱۰۰	۹۸ ± ۱/۵

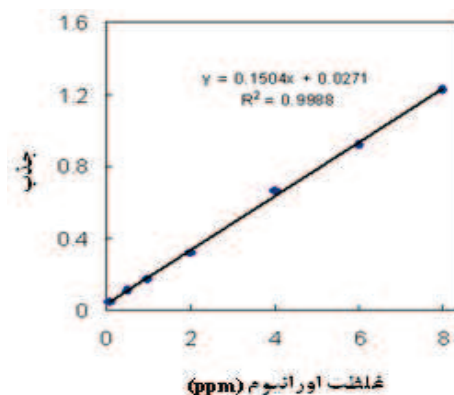
**جدول ۳.** نتایج تعیین اورانیوم در نمونه‌های حقیقی (نتایج میانگین پنج بار اندازه‌گیری مستقل می‌باشند)

نمونه	اورانیوم افزوده شده (ppm)	اورانیوم اندازه‌گیری شده (ppm)*	% بازیابی اورانیوم
آب چشمه	۰/۵	۰/۴۷ ± ۰/۰۲	۹۴ ± ۴
آب شهر	۱	۰/۹۷ ± ۰/۰۳	۹۷ ± ۳
آب رودخانه	۰/۵	۰/۵۲ ± ۰/۰۱	۱۰۴ ± ۲

### ۲-۳. طراحی سامانه قابل حمل و تعیین اورانیوم توسط آن

هدف اصلی از این کار تحقیقاتی، طراحی سامانه قابل حملی برای اندازه‌گیری اورانیوم در نمونه‌های آب توسط روش شرح داده شده در بخش‌های پیشین است. این سامانه که به صورت یک کیت طراحی و تهیه خواهد شد شامل چند قسمت اصلی می‌باشد؛ یک دستگاه نورسنج کوچک و سبک که با قیمت مناسب و بدون مشکل از خارج کشور قابل تهیه باشد و همچنین توانایی اندازه‌گیری جذب کمپلکس اورانیوم Br-PADAP را به صورت تکرارپذیر با کمترین خطا و بیشترین حساسیت دارا باشد، جزء اصلی این سامانه را تشکیل می‌دهد. بخش‌های دیگر شامل ظروف نگهداری محلول‌ها و سایر اقلام معمول در یک کیت آشکارساز هستند. پس از بررسی دستگاه‌های طیف‌نورسنج و نورسنج کوچک با خواص ذکر شده

در غلظت‌های بالاتر از ۸ ppm انحراف از رابطه خطی بر اساس قانون بیر-لامبرت مشاهده می‌شود. حد تشخیص عملی این روش ppm ۰/۱ به دست آمد.

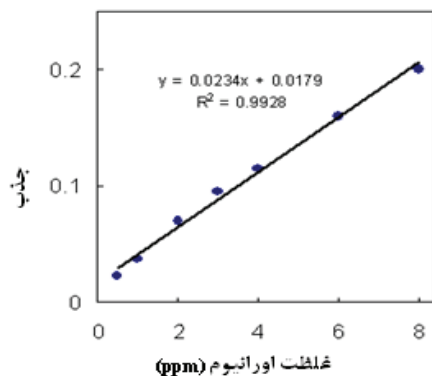


**شکل ۶.** منحنی کالیبراسیون برای اورانیل نترات در غلظت‌های ۰/۵، ۰/۱، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ ppm به صورت کمپلکس با Br-PADAP با بافر تری‌اتانول آمین ۱۰ pH

**اثر یون‌های مزاحم:** با توجه به این‌که یون‌های سدیم، مولیبدنیوم، کلسیم، لیتیم، منیزیم، روبیدیم، تانتالیم، سزیم، پتاسیم، بوریم، سرب، باریم، آلومینیم، نقره، تنگستن، لاتانیم، کرومیوم و گادولینیم، با برم پاداپ کمپلکس نمی‌دهند، در اندازه‌گیری اورانیوم نیز تداخلی نداشته و ایجاد مزاحمت نمی‌کنند [۲۲]. بنابراین تنها اثر تداخل یون‌های کبالت، سرب، مس، نیکل، کادمیم و روی در اندازه‌گیری اورانیوم مورد بررسی قرار گرفت. جدول (۲) درصد بازیابی اورانیوم به عنوان معیاری از حذف اثر تداخل‌کنندگی یون‌های مورد آزمایش توسط معرف پوشاننده EDTA را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده، اثر تداخل‌کنندگی یون‌های مورد بررسی تقریباً حذف شده است.

### ۳-۱-۵. کاربرد تجزیه‌ای

کاربرد روش توصیف شده برای تعیین اورانیوم در چند نمونه مختلف آب با روش افزایش استاندارد مورد بررسی قرار گرفت. به این ترتیب که به محلول‌های نمونه، مقدار مشخصی اورانیل نترات استاندارد اضافه شده و پس از اندازه‌گیری مقدار اورانیوم، درصد بازیابی برای محاسبه صحت روش به کار گرفته شد (جدول (۳)). نتایج بازیابی ۹۴ تا ۱۰۴ درصد نشان می‌دهد که این روش برای تعیین اورانیوم در نمونه‌های آب از صحت قابل قبولی برخوردار است.



شکل ۸. منحنی کالیبراسیون تعیین اورانیوم با دستگاه نورسنج تداخلی پلین تست مدل AL250

جدول ۴. اثر یون های مزاحم در اندازه گیری ppm ۰/۵ اورانیوم با برم پاداپ با بافر تری اتانول آمین ۱۰ pH و ۳ میلی لیتر EDTA ۰/۰۱M

نام یون اضافه شده	غلظت یون مزاحم اضافه شده (ppm)	% بازیابی اورانیوم
Ca <sup>2+</sup>	۷۵	۹۷/۲±۳
Pb <sup>2+</sup>	۷۵	۱۰۲±۲
Al <sup>3+</sup>	۷۵	۱۰۰±۳
Cd <sup>2+</sup>	۷۵	۹۶±۴
Cu <sup>2+</sup>	۷۵	۱۰۰/۹±۲
Co <sup>2+</sup>	۵۰	۱۰۶±۲
Ni <sup>2+</sup>	۵۰	۹۵±۳

با توجه به نتایج فوق و برای اطمینان از کارایی دستگاه نورسنج تداخلی برای اندازه گیری اورانیوم در نمونه های حقیقی، درصد بازیابی اورانیوم در چند نمونه آب توسط روش افزایش استاندارد تعیین شد و بر این اساس، صحت روش مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵)). با توجه به جدول (۵)، نتایج بازیابی ۹۸ تا ۱۰۶ درصد نشان می دهد که این روش برای تعیین اورانیوم در نمونه های آب از صحت قابل قبولی برخوردار است. هم چنین نمونه های آب توسط دستگاه دزی متر LB122 با پروب ۷-β قبل و بعد از اضافه کردن مقدار مشخص اورانیوم (۱۲ ppm) مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج شمارش توسط این دستگاه نشان داد تفاوت محسوسی بین پاسخ دستگاه برای این نمونه ها قبل و بعد از آلوده شدن به اورانیوم وجود ندارد. به بیان دیگر، حد تشخیص عملی دستگاه فوتومتر نسبت به دستگاه دزی متر در شرایط مورد آزمایش بهتر می باشد. حد تشخیص عملی با این دستگاه ppm ۰/۵ به دست آمد.

فوق، نورسنج تداخلی پلین تست<sup>۱</sup> مدل AL250 برای هدف مورد نظر انتخاب و تهیه گردید. شکل (۷) نمای این دستگاه را نشان می دهد. این دستگاه دارای ظرف نمونه به حجم ۱۰ میلی لیتر و طول مسیر عبور نور ۱/۵ سانتی متر می باشد.

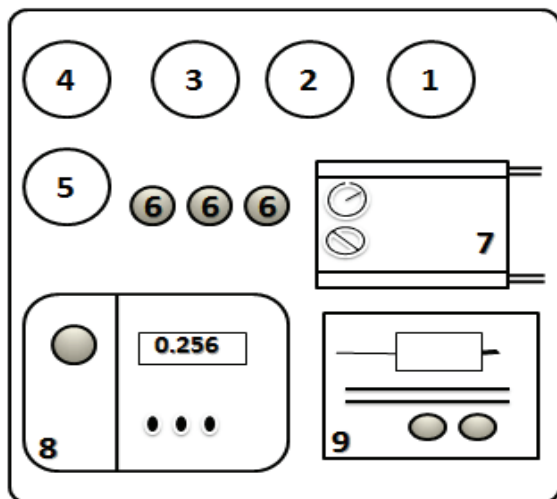


شکل ۷. تصویر دستگاه نورسنج تداخلی پلین تست مدل AL250

### ۳-۲-۱. بررسی کارایی دستگاه نورسنج تداخلی برای تعیین اورانیوم در نمونه های آب

قبل از تهیه و تجمیع اجزاء سامانه در قالب یک کیت آشکارساز ابتدا روش تعیین اورانیوم با معرف رنگزای Br-PADAP در نمونه های آبی توسط این دستگاه نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور تمامی شرایط بهینه حاصل از بررسی های ارائه شده در بخش های پیشین مورد استفاده قرار گرفت و منحنی کالیبراسیون با دستگاه جدید رسم گردید (شکل ۸)). همان گونه که مشاهده می شود دامنه خطی (۸-۰/۵ ppm) و حساسیت به دست آمده با دستگاه نورسنج نسبت به دستگاه طیف نورسنج مقداری کاهش یافته است. بررسی اثر یون های مزاحم در اندازه گیری اورانیوم توسط این دستگاه نیز انجام گرفت که نتایج مشابه با آزمایش های پیشین به دست آمد. همان گونه که در جدول (۴) نشان داده شده است، به دلیل کاهش حساسیت روش، غلظت یون های مزاحمی که می توان در حضور آن ها اورانیوم را اندازه گیری کرد نسبت به اندازه گیری اورانیوم با دستگاه طیف نورسنج کاهش یافته است.

تشخیص‌های بین ۰/۵ تا ۱ ppm به شکل عملی قابل انجام است. مقایسه نتایج روش رنگ سنجی با نتایج حاصل از دزی‌متر LB122 با پروب  $\beta$ - $\gamma$  بیانگر بهتر بودن حد تشخیص عملی دستگاه نورسنج نسبت به آن می‌باشد. با توسعه این کیت و استفاده از یک نمونه بردار هوا و انحلال نمونه می‌توان اورانیوم موجود در نمونه‌های غبار هوا را نیز با این روش اندازه‌گیری کرد.



- ۱- محلول بافر  
۲- محلول Br-PADAP  
۳- اسید نیتریک  
۴- EDTA  
۵- جامد EDTA  
۶- سل‌های شیشه‌ای  
۷- نمونه بردار هوا (برای توسعه قابلیت دستگاه)  
۸- نورسنج قابل حمل  
۹- تجهیزات نمونه برداری آب (سرنگ فیلتردار)

شکل ۹. طرح تهیه شده برای سامانه آشکارساز اورانیوم

جدول ۵. نتایج تعیین اورانیوم در نمونه‌های حقیقی توسط دستگاه نورسنج تداخلی

نمونه	اورانیوم افزوده شده (ppm)	% بازیابی اورانیوم
۱	۱	۱۰۶
آب شهر تهران	۱	۹۸
آب شهر کرمانشاه	۱	۱۰۴
آب چاه	۱	۱۰۱
رودخانه ارس	۱	۹۷

### ۳-۲- طراحی سامانه

با توجه به الزامات سامانه تعیین اورانیوم در نمونه‌های آب از جمله دستگاه نورسنج، نمونه بردار آب، ظروف نگهداری محلول‌های مادر و محلول‌های آزمایشی و سایر اجزاء مورد نیاز مانند پیت‌های یکبار مصرف، کاغذ pH متر و دستورات عمل گام‌به‌گام اندازه‌گیری که برای فرد غیر متخصص نیز قابل استفاده باشد، طراحی شده است. طراحی از سامانه تهیه شده در شکل (۹) نشان داده شده است. این اجزاء را می‌توان درون یک کیف پلاستیکی محکم جمع نموده و به این ترتیب کیت آشکارساز قابل حملی برای تعیین اورانیوم تهیه کرد که آنالیز اولیه سریعی از نمونه‌های آب (حداکثر ۱۰ دقیقه) را با کمترین هزینه در اختیار قرار دهد. لازم به ذکر است آنالیز دقیق نمونه‌ها به صورت میدانی امکان‌پذیر نبوده و نیازمند صرف هزینه و زمان بسیار زیاد می‌باشد.

### ۴. مراجع

- [1] UNSCEAR Reports: UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly Science Annexes, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.; (UNSCEAR), UN, New York (1988,1993,1996, 2000).
- [2] Zouridakis, N.; Ochsenkuhn, K. M.; Savidou, A. "Determination of Uranium and Radon in Portable Water Samples."; J. Environ. Radioact. 2002, 61, 225-228.
- [3] Brina, R. "Uranium Removal from Contaminated Water by Enzymatic Reduction with Kinetic Phosphorimetry Detection."; Am. Lab. 1995, 27, 43-47.
- [4] Ejniak, J. W.; Hamilton, M. M.; Adams, P. R.; Carmichael, A. J. "Optimal Sample Preparation Conditions for the Determination of Uranium in Biological Samples by Kinetic Phosphorescence Analysis (KPA)."; J. Pharm. Biomed. Anal. 2000, 24, 227-229.

### ۳-۳. نتیجه‌گیری

از بین معرف‌های رنگ‌زای متفاوتی که برای تعیین طیف‌نورسنجی اورانیوم در نمونه‌های مختلف ارائه شده‌اند، لیگاند Br-PADAP دارای بهترین ضرایب جذب و متناسب با آن بهترین حد تشخیص بوده و به منظور اندازه‌گیری اورانیوم به روش رنگ‌سنجی انتخاب شد. اندازه‌گیری اورانیوم پس از بهینه‌سازی شرایط آزمایشی در نمونه‌های حقیقی انجام گرفت و نتایج نشان داد تعیین اورانیوم به روش رنگ‌سنجی در حد

- [5] Ethington, E. F.; Niswonger, K. R. "Alpha Spectrometry Measurement Reproducibility Study for Uranium, Plutonium, and Americium in Water at Rocky Flats environmental Technology Site."; Health Phys. 2000, 79, 38-40.
- [6] Salonen, L. A. "A Rapid Method for the Monitoring of Uranium and Radon in Drinking Water."; Sci. Total Environ. 1993, 130-131, 23-35.
- [7] Karpas, Z.; Ilalicz, L.; Roiz, J.; Marko, R.; Katorza, E.; Lorber, A.; Goldbart, Z. "Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry as a Simple, Rapid, and Inexpensive Method for Determination of Uranium in Urine and Fresh Water."; Health Phys. 1996, 71, 879-885.
- [8] Alexandra, C. M. "Depleted Uranium, Properties, Uses, and Health Consequences."; CRC Press, 2007, 75-76.
- [9] Currah J. E.; Beamish F. E. "Colorimetric Determination of Uranium with Thiocyanate."; Anal. Chem. 1942, 19, 609-612.
- [10] Yoe, J. H.; Kill, F.; Black, R. A. "Colorimetric Determination of Uranium with Dibenzoylmethane."; Anal. Chem. 1953, 25, 1200-1204.
- [11] Nietzel, O. A.; De Sesa, M. A. "Spectrophotometric Determination of Uranium with Thiocyanate in Butyl Cellosolve-Methyl Isobutyl Ketone-Water Medium."; Anal. Chem. 1957, 29, 756-759.
- [12] Cheng K. L. "Determination of Traces of Uranium with 1-(2-Pyridylazo)-2-naphthol."; Anal. Chem. 1958, 30, 1027-1030.
- [13] Motojima, K.; Yoshida, H.; Izawa, K. "Spectrophotometric Determination of Small Amounts of Uranium with 8-Quinolinol."; Anal. Chem. 1960, 32, 1083-1085.
- [14] Florence, T. M.; Farrara, Y., "Spectrophotometric Determination of Uranium with 4-(2-pyridylazo)resorcinol."; Anal. Chem. 1963, 35, 1613-1616.
- [15] Miel, K.; Selangor, S. A. "Spectrophotometric Determination of Uranium(VI) with Chromazurol S and Cetylpyridinium Bromide."; Anal. Chem. 1973, 45, 201-203.
- [16] Noor Alam, L. M.; Rahman, N.; Hejaz Azmi, S. N. "Optimized and Validated Spectrophotometric Method for the Determination of Uranium(VI) via Complexation with Meloxicam."; J. Hazard. Mat. 2008, 155, 261-268.
- [17] Holcomb, H. P.; Yoe, J. H. "Spectrophotometric Determination of Uranium with 3-(2-Arsonophenylazo)-4,5-Dihydroxy-2,7-Naphthalenedisulfonic Acid (Trisodium Salt)."; Anal. Chem. 1960, 32, 612-617.
- [18] Haleem Khan, M.; Warwick, P.; Evans, N., "Spectrophotometric Determination of Uranium with Arsenazo-III in Perchloric Acid."; Chemosphere 2006, 63, 1165-1169.
- [19] Florence, T. M.; Johnson, D. A.; Yvonne, Farrar J. "Spectrophotometric Determination of Uranium (VI) with 2-(2-Pyridylazo)-5-Diethylaminopheno."; Anal. Chem. 1969, 41, 1652-1654.
- [20] Johnson, D. A.; Florence, T. M. "Spectrophotometric Determination of Uranium(VI) with 2-(5-Bromo-2-Pyridylazo)-5-Diethylaminophenol."; Anal. Chim. Acta. 1971, 53, 73-79.
- [21] Lyle, S. J.; Tamizi, M. "A Study of the Direct Spectrophotometric Determination of Uranium(VI) in Trialkylamine Extracts with 2-(5-Bromo-2-Pyridylazo)-5-Diethylaminophenol."; Anal. Chim. Acta. 1979, 108, 267-275.
- [22] Hartenstein, S. D. "Spectrophotometric Procedure for the Determination of Uranium with 2-(5-Bromo-2-Pyridylazo)-5-Diethylaminophenol at a Nuclear Reprocessing Facility."; Anal. Chim. Acta. 1990, 228, 279-285.
- [23] Hung, S. C.; Qu, C. L.; Wu, S. S. "Spectrophotometric Determination of Uranium (VI) with 2-(3,5-Dibromo-2-Pyridylazo)-5-Diethylaminophenol in the Presence of Anionic Surfactant."; Talanta 1982, 29, 629-631.
- [24] Kalinich, J. F.; McClain, D. E. "Development of a Colorimetric Test for Uranium."; NATO RTG-099, 2005.
- [25] Callahan, C. M.; "Ultraviolet Determination of Uranium in Concentrated Hydrochloric Acid."; Anal. Chem. 1961, 33, 1660-1664.