

ارائه یک روش ساده برای اندازه‌گیری یون‌های یدید در جا با ثبت تغییرهای شدت فلورسانس رودامین B با یک فلورسانس سنج دست‌ساز

لیلا خوشمرام^{۱*}، مریم محمدی هرگلان^۲ و عادل ناظمی بابادی^۳

۱. دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.
۲. دانشجوی دکتری گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.
۳. دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

دریافت: آبان ۹۹ بازنگری: بهمن ۹۹ پذیرش: بهمن ۹۹



10.30495/JACR.2022.1944210.1985



20.1001.1.17359937.1401.16.1.2.4

چکیده

در مطالعه حاضر، یک روش ساده و ارزان با قابلیت اجرا در جا، برای اندازه‌گیری یون‌های یدید در نمونه‌های آبی متفاوت ارائه شده است. روش پیشنهادی مبتنی بر فرایند خاموش‌سازی فلورسانس رودامین B و استفاده از یک فلورسانس سنج قابل حمل دست‌ساز است. در این فلورسانس سنج دست‌ساز، از دیودهای نشرکننده نور با طول موج نشری ۵۳۰ نانومتر (به‌عنوان منبع تحریک) و از یک گوشی تلفن همراه (به‌عنوان آشکارساز و پردازش‌کننده داده‌ها) استفاده شده است. آزمایش‌ها نشان دادند که در حضور یون یدید، شدت فلورسانس رودامین B کاهش می‌یابد. مقدار تغییرهای شدت فلورسانس رودامین B با تهیه تصاویر دیجیتالی از محلول‌های رودامین B و تجزیه و تحلیل این تصاویر مشخص شد. این تصاویر دیجیتالی نشان دادند که با تغییرهای شدت فلورسانس رودامین B، مقادیر کانال G و پس از بررسی تأثیر عامل‌های تجربی مؤثر بر فرایند خاموش‌سازی شدت فلورسانس رودامین B با یون‌های یدید و انتخاب شرایط بهینه، برپایه نشانک تجزیه‌ای ΔG ، حد تشخیص روش، 1.26×10^{-5} مول بر لیتر به‌دست آمد و نمودار معیارگیری در گستره 2.1×10^{-5} تا 2.3×10^{-3} مول بر لیتر یدید با ضریب تعیین ۰/۹۹۶ خطی شد. انحراف استاندارد نسبی برای ۵ محلول یدید با غلظت 1.57×10^{-5} مول بر لیتر برابر با ۰/۸۳٪ به‌دست آمد. روش پیشنهادی با موفقیت (با درصد‌های بازیافت ۹۸/۶۲ - ۱۰۸/۶۵) برای اندازه‌گیری غلظت یدید در نمونه‌های آبی متفاوت به‌کار گرفته شد.

واژه‌های کلیدی: یدید، خاموش‌سازی فلورسانس، فلورسانس سنج دست‌ساز، تجزیه و تحلیل تصویر، نمونه‌های آبی

مقدمه

هورمون‌های تیروئیدی برای کنترل سوخت و ساز سلولی، رشد، توسعه ساختارهای بدن و سامانه عصبی لازم هستند. بدن انسان نمی‌تواند ید را تهیه کند، بنابراین، ضروری است

ید یک عنصر لازم زیستی است که در تهیه دو هورمون تیروئیدی (تیروکسین و تری‌یدوتیرونین) مورد نیاز بدن است.

حسگرهای شیمیایی بر پایه فلورسانس شده است که در اندازه‌گیری مواد متفاوت از جمله یون‌های فلزی (مانند Cu^{2+} ، Hg^{2+} ، Zn^{2+} ، Pb^{2+} ، Cd^{2+} و...) مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۹]. در این حسگرها، حضور آنالیت موجب افزایش و یا کاهش شدت فلورسانس حسگر می‌شود.

در چند دهه اخیر توجه پژوهشگران به کوچک‌سازی دستگاه‌های تجزیه‌ای معطوف شده است. طراحی دستگاه‌های تجزیه‌ای در ابعاد کوچک افزون بر قابل‌حمل بودن آن و امکان نمونه‌برداری میدانی، برای تجزیه‌های دارویی، صنعتی و غذایی که نیاز به پاسخ زود هنگام دارند، بسیار مناسب است [۱۰ و ۱۱]. همچنین در چند سال اخیر، رنگ‌سنجی مبتنی بر پردازش تصاویر دیجیتال به‌عنوان یک روش تجزیه‌ای ساده، توجه پژوهشگران زیادی را به خود جلب کرده است. پیشرفت‌های اخیر در فناوری و تولید گسترده تلفن‌های هوشمند با دوربین‌های مبتنی بر حسگرهای CMOS یا CCD از یک طرف و توسعه نرم‌افزارهای پردازش رنگ از طرف دیگر، موجب محبوبیت تلفن‌های هوشمند در کاربردهای تجزیه‌ای شده است [۱۲]. در پردازش تصاویر، فضاهای رنگی متفاوتی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند که پرکاربردترین آن‌ها، فضای رنگی قرمز-سبز-آبی (RGB^a) است. RGB از سه بخش Red (قرمز)، Green (سبز)، Blue (آبی) تشکیل شده است. با ترکیب رنگ‌های یادشده که به آن‌ها رنگ‌های ابتدایی گفته می‌شود رنگ‌های ثانویه به وجود می‌آیند. شدت هر یک از رنگ‌های قرمز، سبز و آبی ۲۵۶ سطح متفاوت (۰ تا ۲۵۵) دارند. بنابراین، این فضای رنگ دارای 16777216 (256^3) رنگ متفاوت است [۱۳].

با توجه به اینکه در میان همه گونه‌های یددار موجود، یدید یکی از و مهم‌ترین گونه‌های یددار در منابع آبی است. بنابراین، در این کار پژوهشی تلاش شد تا یک روش ساده و ارزان با قابلیت اجرا در محل، برای اندازه‌گیری یون‌های یدید

که آن را از منابع متفاوت به‌دست آورد که غذا و آب مهم‌ترین آن‌هاست. کمبود در دوران بارداری و نوزادی ممکن است منجر به آسیب‌های برگشت‌ناپذیر مغزی، اختلال در رشد و تکامل عصبی فرزندان و افزایش مرگ و میر نوزادان شود. در سراسر جهان، حدود ۷۴۰ میلیون نفر به اختلالات کمبود ید (IDD^1) مبتلا هستند و بیش از ۲ میلیارد نفر در معرض خطر ابتلا به IDD قرار دارند [۱ و ۲]. مقادیر زیادی نیز می‌تواند برای سلامتی مضر باشد. بنابراین، وجود روش‌های سریع، حساس و ارزان برای اندازه‌گیری مقادیر در منابع آبی متفاوت، بسیار مهم است.

چندین روش تجزیه‌ای برای اندازه‌گیری گونه‌های متفاوت در محلول‌های آبی وجود دارد. نمونه‌هایی که دارید با غلظت‌های بالاتر هستند، می‌توانند با روش‌های تیتراژ و طیف‌نورسنجی تجزیه شوند. درحالی‌که، اندازه‌گیری غلظت‌های کمید بیشتر با روش‌های دستگاهی گران‌تر و پیچیده‌تر همانند سوانگاری گازی (GC) یا سوانگاری مایع با کارایی بالا (HPLC^2)، طیف‌سنجی نشر اتمی پلاسما جفت‌شده القایی (ICP^3)، تجزیه فعال‌سازی نوترونی (NAA^4) صورت می‌گیرد [۳ تا ۵]. به‌طور معمول این روش‌ها به یک مرحله پرهزینه آماده‌سازی نمونه نیاز دارند و یا شامل یک تبدیل شیمیایی یدید پیش از آشکارسازی برای بهبود حساسیت هستند [۶]. از جمله روش‌های تجزیه‌ای که در تجزیه یون‌های متفاوت مورد توجه پژوهشگران قرار می‌گیرد طیف‌سنجی فلورسانس است، زیرا طیف‌سنجی فلورسانس با مزیت‌هایی چون سرعت و حساسیت بالا، تجزیه مواد در مقادیر کم، حذف مرحله آماده‌سازی نمونه در بیشتر موارد که دارد، قابل استفاده برای نمونه‌های جامد و مایع است [۷ و ۸]. همین مزایای طیف‌سنجی فلورسانس موجب گسترش

1. Iodine deficiency disorders

2. High-performance liquid chromatography

3. Inductively coupled plasma

4. Neutron activation analysis

5. Red-Green- Blue

دستگاه‌ها

طیف‌سنج فلورسانس Jasco مدل Fp-6200 ساخت ژاپن با لامپ قوس زنون ۱۵۰ وات و سرعت اسکن ۴۰۰۰ دور در دقیقه که عامل‌های دستگاهی و پردازش داده‌های آن با نرم‌افزار Spectral Measurement واپایش می‌شد، برای ثبت طیف تحریک محلول رودامین B به‌کارگرفته‌شد. ترازوی دیجیتالی مدل Kern PFB-300-4 ساخت کشور آلمان با دقت ۰/۰۰۱ گرم برای توزین مواد و pH متر دیجیتالی Metrohm مدل ۸۲۷ ساخت سوئیس برای تنظیم pH محلول‌ها به‌کارگرفته-شدند. یک فلورسانس‌سنج قابل‌حمل دست‌ساز که پیش‌تر با این گروه پژوهشی در آزمایشگاه طراحی و ساخته شده بود برای اندازه‌گیری شدت فلورسانس محلول رودامین B مورد استفاده قرار گرفت. قطعه‌های به‌کاررفته در این فلورسانس-سنج دست‌ساز و چگونگی عملکرد آن به صورت مفصل در کار پیشین توضیح داده شده است [۱۴]. به‌طور خلاصه، در این فلورسانس‌سنج، ۵ نوع دیود نشرکننده نور (LED^۱) با طول‌موج‌های ۳۶۵، ۳۹۵، ۴۱۰، ۴۷۰، ۵۳۰ نانومتر به‌عنوان منبع تابش و یک گوشی هوشمند (دارای نرم‌افزار Color Grab) به‌عنوان آشکارساز به‌کارگرفته‌شدند. گوشی هوشمند با برند HTC مدل Wildfire S A510e بود که مقابل محل نگاه‌دارنده سل با زاویه ۹۰° نسبت به منبع تابش قرار گرفته بود.

روش اندازه‌گیری یدید

توانایی یون‌های یدید در خاموش‌سازی شدت فلورسانس رودامین B برای اندازه‌گیری غلظت یدید به‌کارگرفته‌شد. بدین منظور ۵ میلی‌لیتر محلول استاندارد یدید حاوی 10^{-5} تا $2/1 \times 10^{-3}$ مول در لیتر یا نمونه حقیقی در یک بالن حجم‌سنجی ۱۰ میلی‌لیتری قرار گرفت. سپس ۱ میلی‌لیتر محلول رودامین B با غلظت $10^{-5} \times 3/1$ مول بر لیتر و ۱ میلی‌لیتر محلول کلریدریک اسید با غلظت

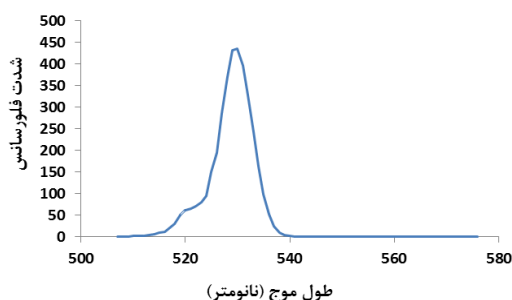
در نمونه‌های متفاوت آبی ارائه شود. در روش ارائه شده از توانایی یون‌های یدید در خاموش‌سازی فلورسانس رودامین B و یک فلورسانس‌سنج قابل‌حمل و دست‌ساز برای بررسی شدت فلورسانس محلول‌ها استفاده شده است. در این فلورسانس‌سنج دست‌ساز، یک گوشی هوشمند (با نرم‌افزار Color Grab) به‌عنوان آشکارساز به‌کار گرفته شده که قابلیت پردازش تصاویر دیجیتالی به‌دست آمده از محلول‌های رودامین B که در حال نشر فلورسانس هستند، را دارد. پس از پردازش تصاویر دیجیتالی، مقدارهای کانال‌های R و G در به‌دست آوردن نشانک تجزیه‌ای مرتبط با غلظت یدید به‌کارگرفته شدند.

بخش تجربی

مواد شیمیایی

همه مواد مورد استفاده، از خلوص تجزیه‌ای برخوردار بودند. برای آماده‌سازی محلول‌های نمونه و استاندارد از آب دوبر تقطیرشده با درجه خلوص بالا استفاده شد. بوریک اسید، فسفریک اسید (۸۵٪) و استیک اسید (۹۶٪) که برای تهیه بافر رابینسون مورد نیاز بودند همراه با رودامین B، نمک پتاسیم یدید و کلریدریک اسید (۳۷٪) از شرکت مرک آلمان خریداری شدند. محلول مادر رودامین B با غلظت $10^{-4} \times 2/1$ مول در لیتر و محلول مادر یدید با غلظت 10^{-4} مول در لیتر از انحلال ترکیب‌های مربوط در آب مقطر تهیه شدند. محلول‌های رقیق‌تر هر یک از معرف‌ها، به‌صورت روزانه از رقیق‌سازی محلول‌های مادر مربوط به‌وسیله آب مقطر به‌دست می‌آمدند. محلول کلریدریک اسید ۱۰ مول در لیتر از انحلال مقدار مشخصی از محلول تجاری آن تهیه شد. بافر بریتون-رابینسون از مخلوط فسفریک اسید، بوریک اسید و استیک اسید هریک با غلظت 10^{-4} مول در لیتر، تهیه شدند و pH آن با محلول سدیم هیدروکسید 10^{-2} مول در لیتر تنظیم شد.

1. Light Emitting Diode



شکل ۱ طیف تحریک رودامین B در طول موج نشری ۵۷۸ نانومتر

انتخاب نشانک تجزیه‌ای مناسب

برای انتخاب نشانک تجزیه‌ای مناسب برای اندازه‌گیری شدت فلورسانس محلول رودامین B، ابتدا محلول‌هایی با غلظت‌های متفاوت از رودامین B تهیه شدند. سپس این محلول‌ها با فلورسانس‌سنج دست‌ساز مورد تجزیه قرار گرفتند. برپایه نتیجه‌های به‌دست آمده، با افزایش غلظت رودامین B، شدت فلورسانس محلول‌ها افزایش می‌یابد. افزایش شدت فلورسانس محلول‌ها منجر به افزایش مقادیر کانال‌های R و G به‌دست آمده از پردازش تصاویر دیجیتالی می‌شود. در مرحله بعد، محلول‌هایی با غلظت‌های متفاوت یون‌های یدید تهیه شد و سپس ۵ میلی‌لیتر از هر یک از این محلول‌ها، برپایه روش بیان شده در بخش روش اندازه‌گیری یدید، مورد تجزیه قرار گرفتند. نتیجه‌های به‌دست آمده، مشخص کرد که با افزایش غلظت یدید، شدت فلورسانس رودامین B کاهش می‌یابد و در نتیجه منجر به کاهش مقادیر کانال‌های R و G می‌شود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که هر چه غلظت یون‌های یدید بیشتر باشد مقادیر کانال R و G کمتر خواهند بود. بنابراین، مقدار تغییرهای کانال‌های R و G (ΔR و ΔG) به‌عنوان نشانک تجزیه‌ای برای اندازه‌گیری غلظت یون‌های یدید با فلورسانس‌سنج دست‌ساز، انتخاب شدند.

$$\Delta R = R_0 - R \quad (1)$$

۱۰ مول بر لیتر به آن افزوده شد. پس از ۱۰ دقیقه، حجم نهایی محلول با آب مقطر به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در نهایت ۳ میلی‌لیتر از این محلول داخل سل کوآرتزی ریخته شد و درجا نگهدارنده سل فلورسانس‌سنج دست‌ساز قرار گرفت تا با گرفتن عکس و پردازش تصاویر، شدت خاموش‌سازی رودامین B با یون‌های یدید مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه‌ها و بحث

انتخاب مناسب‌ترین دیود نشرکننده نور به‌عنوان منبع تحریک در فلورسانس‌سنج دست‌ساز

برای انتخاب مناسب‌ترین دیود نشرکننده نور به‌عنوان منبع تحریک در فلورسانس‌سنج دست‌ساز، ۳ میلی‌لیتر محلول رودامین B با غلظت $10^{-5} \times 3/1$ مول بر لیتر داخل سل کوآرتزی ریخته شد و درجا نگهدارنده سل قرار گرفت. سپس ۵ نوع LED به کار رفته در ساختار فلورسانس‌سنج دست‌ساز به ترتیب روشن و خاموش شدند تا مشخص شد، هنگام به‌کارگیری کدامیک از این LEDها، محلول رودامین B بیشترین شدت نشر فلورسانس را دارد. برپایه نتیجه‌های به‌دست آمده، بیشترین شدت فلورسانس محلول رودامین B هنگام به‌کارگیری LED با طول موج ۵۳۰ نانومتر مشاهده شد. بنابراین LED با طول موج ۵۳۰ نانومتر به‌عنوان مناسب‌ترین منبع تحریک محلول رودامین B انتخاب شد. برای بررسی کارایی فلورسانس‌سنج دست‌ساز در تعیین مناسب‌ترین طول موج تحریک، طیف تحریک محلول رودامین B با یک طیف‌سنج فلورسانس تجاری رسم شد (شکل ۱). طیف تحریک به‌دست آمده، تأیید کننده کارایی بالای فلورسانس‌سنج دست‌ساز در انتخاب مناسب‌ترین منبع تحریک برای محلول رودامین B است.

$$\Delta G = G_0 - G \quad (2)$$

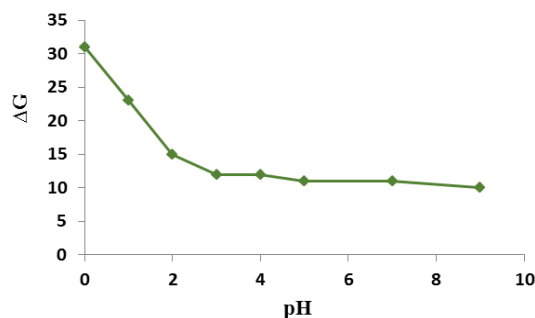
در معادله های ۱ و ۲، R و G مقادیر کانال های R و G برای محلول های دارای یدید و G_0 و R_0 مقادیر این کانال ها برای محلول های شاهد است.

بهینه سازی عوامل مؤثر در خاموش سازی رودامین B با یون های یدید

برای دستیابی به بهترین شرایط تجربی و به دست آوردن بیشینه حساسیت برای اندازه گیری یدید، اثر عامل های متفاوت بر مقدار خاموش سازی فلورسانس رودامین B در حضور یدید مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی تأثیر pH محلول

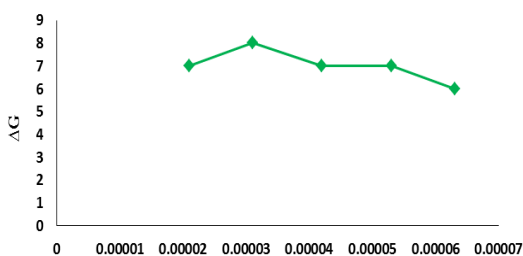
برای بررسی اثر pH محلول بر فرایند خاموش سازی رودامین B با یون های یدید، آزمایش ها در محلول هایی با pH های متفاوت (۰ تا ۹) انجام شد. از محلول کلریدریک اسید برای تنظیم pH در گستره ۰ تا ۱ و از بافر بریتون-رابینسون برای تنظیم pH در گستره ۲ تا ۹ استفاده شد. نتیجه های به دست آمده در شکل ۲ نشان می دهند که مقدار خاموش سازی در pH های پایین بیشترین مقدار است.



شکل ۲ اثر pH در میزان خاموش سازی شدت فلورسانس رودامین B در حضور یدید (شرایط آزمایش: رودامین B، ۱ میلی لیتر با غلظت $۲,۱ \times 10^{-5}$ مول بر لیتر؛ یدید، ۵ میلی لیتر با غلظت $۱,۵۷ \times 10^{-5}$ مول بر لیتر و آب مقطر، ۳ میلی لیتر و زمان واکنش ۱۰ دقیقه).

بررسی تأثیر غلظت رودامین

برای بررسی تأثیر غلظت رودامین B بر فرایند خاموش سازی، ابتدا محلول های متفاوتی از رودامین B در گستره غلظتی $۲,۱ \times 10^{-5}$ تا $۶,۳ \times 10^{-5}$ مول بر لیتر تهیه شدند و سپس برپایه روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفتند. نتیجه های به دست آمده (شکل ۳) نشان داد که مقدار خاموش سازی رودامین در همه غلظت ها به تقریب برابر است. پس می توان نتیجه گرفت که توانایی یدید در خاموش سازی فلورسانس رودامین B وابسته به غلظت رودامین B نیست. بنابراین، غلظت $۳,۱ \times 10^{-5}$ مول بر لیتر رودامین B به عنوان غلظت بهینه انتخاب شد.



غلظت رودامین B (مول بر لیتر)

شکل ۳ اثر غلظت رودامین B در میزان خاموش سازی شدت

فلورسانس رودامین B در حضور یدید (شرایط آزمایش: رودامین B، ۱ میلی لیتر با غلظت های متفاوت؛ محلول کلریدریک اسید، ۱ میلی لیتر با غلظت ۱۰ مول بر لیتر و سایر شرایط آزمایش همانند شرایط بیان شده در شکل ۲ هستند).

اثر زمان واکنش

برای اطمینان از کامل شدن برهم کنش بین رودامین B و یدید، اثر زمان بر شدت فلورسانس رودامین B در گستره ۵ تا ۳۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتیجه های به دست آمده (شکل ۴)، پس از ۸ دقیقه واکنش کامل می شود. بنابراین، برای اطمینان زمان ۱۰ دقیقه به عنوان زمان بهینه انتخاب شد.

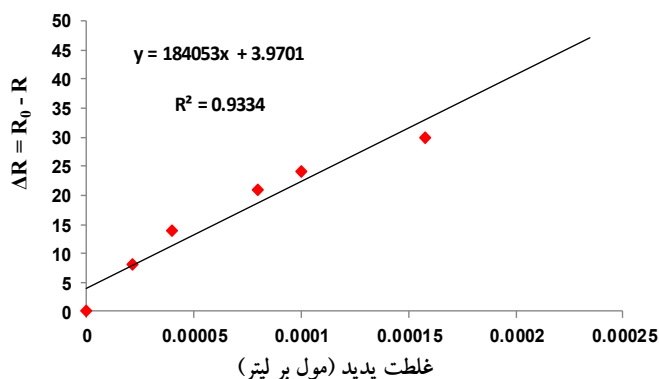
معیارگیری به دست آمده بر پایه ΔG از حالت خطی بهتری برخوردار است. بنابراین، بقیه عامل‌های تجزیه‌ای روش پیشنهادی بر پایه ΔG مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین، در بررسی نمونه‌های حقیقی، ΔG به عنوان نشانک تجزیه‌ای مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به شکل ۵-ب گستره خطی نمودار معیارگیری به دست آمده بر پایه ΔG برابر با 10^{-5} تا $2/1 \times 10^{-3}$ مول بر لیتر یدید است. تکرارپذیری روش ۵ بر ۵ محلول یدید با غلظت $1/57 \times 10^{-5}$ مول بر لیتر بررسی شد و بر پایه نتیجه‌های به دست آمده، انحراف استاندارد نسبی (% RSD) ۰/۸۳٪ به دست آمد. برای محاسبه حد تشخیص روش، ۵ محلول شاهد تهیه و مطابق با روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفتند. سپس با استفاده از روابط $LOD=3S_b/m$ و $LOQ=10S_b/m$ (انحراف استاندارد محلول‌های شاهد و m ، شیب نمودار معیارگیری است) حد تشخیص و حد کمی روش به ترتیب برابر با $1/62 \times 10^{-5}$ و $4/86 \times 10^{-5}$ مول بر لیتر به دست آمدند.



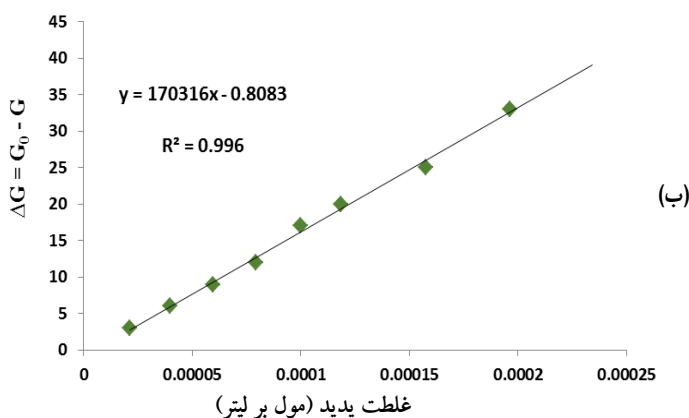
شکل ۴ اثر زمان واکنش در مقدار خاموش سازی شدت فلورسانس رودامین B در حضور یدید (شرایط آزمایش: رودامین B، ۱ میلی لیتر با غلظت $10^{-5} \times 3/1$ مول بر لیتر و سایر شرایط آزمایش همانند شرایط بیان شده در شکل ۳ است.)

بررسی ویژگی‌های تجزیه‌ای روش

پس از بهینه‌سازی تمام عامل‌های مؤثر، ویژگی‌های تجزیه‌ای روش پیشنهادی بررسی شد. ابتدا بر پایه هر دو نشانک ΔR و ΔG ، نمودارهای معیارگیری رسم شدند. با توجه به نتیجه‌های به دست آمده (شکل ۵)، نمودار



شکل ۵ نمودار معیارگیری به دست آمده برای یدید از راه خاموش سازی مستقیم رودامین B در طول موج تحریک ۵۳۰ نانومتر، بر پایه تغییرهای مقادیر کانال R (الف) و G (ب)

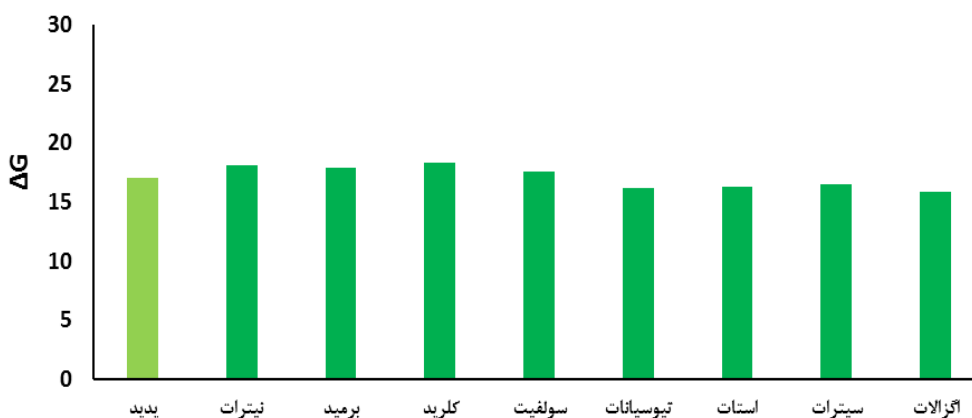


ادامه شکل ۵ نمودار معیارگیری به دست آمده برای یدید از راه خاموش سازی مستقیم رودامین B در طول موج تحریک ۵۳۰ نانومتر، بر پایه تغییرهای مقادیر کانال R (الف) و G (ب)

جداگانه هر کدام از این آنیون‌ها تا ده برابر مقدار آنیون یدید به محلول دارای رودامین B و آنیون یدید تحت شرایط بهینه مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه‌های به دست آمده (شکل ۶) نشان داد که آنیون‌های ذکر شده اثر مزاحمتی در اندازه‌گیری یون یدید نداشتند.

اثر یون‌های مزاحم

اثر مزاحمت آنیون‌ها بر اندازه‌گیری آنیون یدید مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا اندازه‌گیری شدت فلورسانس رودامین B با افزایش آنیون یدید به تنهایی ارزیابی شد و سپس اثر مزاحمت آنیون‌های برمید، کلرید، سولفیت، فلورید، نیترات، تیوسیانات، استات، سیترات، اگزالات با افزایش



شکل ۶ مقدار تغییرهای ΔG در حضور آنیون‌های متفاوت (اثر مزاحمت آنیون‌های متفاوت در حضور یدید با غلظت $10^{-4} \times 1/2$ مول بر لیتر تحت شرایط بهینه بررسی شده است).

مقادیر مشخصی دیدید افزوده و سپس درصد بازیابی مقادیر افزوده شده، محاسبه شد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده در جدول ۱ خلاصه شده است. بازیابی‌های مناسب به‌دست‌آمده حاکی از آن است که روش پیشنهادی می‌تواند با صحت بالا برای اندازه‌گیری دیدید در نمونه‌های آبی متفاوت مورد استفاده قرار گیرد.

اندازه‌گیری دیدید در نمونه‌های حقیقی

با توجه به اهمیت اندازه‌گیری دیدید در نمونه‌های آبی متفاوت، توانایی روش پیشنهادی برای اندازه‌گیری دیدید در نمونه‌های آب آشامیدنی آذرشهر و آب معدنی مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا هر دو نمونه آب، دو مرتبه با آب مقطر رقیق‌سازی و سپس برپایه روش پیشنهادی تجزیه شدند. برای بررسی صحت نتیجه‌های به‌دست‌آمده، به هر یک از این نمونه‌ها

جدول ۱ نتیجه‌های به‌دست‌آمده در اندازه‌گیری دیدید در نمونه‌های آبی متفاوت با روش پیشنهادی

نمونه	غلظت دیدید افزوده شده (mol/l)	غلظت دیدید به‌دست‌آمده (mol/l)	بازیابی (%)
آب آشامیدنی آذرشهر	-	۰/۰۰۰۳۸۴* (۰/۰۰۰۱۲۸)	-
	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱۷۰	۱۰۱/۱۹
	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲۲۵	۹۸/۶۸
آب معدنی	-	۰/۰۰۰۵۷۳* (۰/۰۰۰۱۹۱)	-
	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲۵۱۰	۱۰۸/۶۵
	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲۸۷	۹۸/۶۲

* غلظت دیدید در نمونه‌های آب با اعمال اثر رقیق‌سازی

دستخوش تغییر می‌شدند، مقادیر این دو کانال به‌عنوان نشانک تجزیه‌ای برای اندازه‌گیری غلظت یون‌های دیدید مورد استفاده قرار گرفتند. گستره خطی خوب، حدتشخیص پایین و تکرارپذیری‌های بالا بیانگر توانایی بالای روش پیشنهادی در اندازه‌گیری مقادیر دیدید در نمونه‌های آبی متفاوت بود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان و دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی قدردانی می‌نمایند.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، یک روش ساده و ارزان قیمت با قابلیت اجرا درجا برای اندازه‌گیری غلظت دیدید در نمونه‌های آبی ارائه شد. در این روش، فرایند خاموش‌سازی فلورسانس رودامین B با یون‌های دیدید و اندازه‌گیری شدت فلورسانس با یک فلورسانس‌سنج قابل‌حمل و دست‌ساز به‌کارگرفته‌شده است. در این فلورسانس‌سنج دست‌ساز، از یک گوشی هوشمند که نرم‌افزار Color Grab در آن نصب شده بود به‌عنوان آشکارساز و واحد تجزیه و تحلیل تصاویر دیجیتالی استفاده شد. تجزیه و تحلیل تصاویر دیجیتالی برپایه فضای رنگ RGB صورت گرفت. با توجه به اینکه مقادیر کانال G و R تصاویر دیجیتالی با تغییر شدت فلورسانس رودامین B،

مراجع

- [1] Zaruba, S.; Vishnikin, A.B.; Andruch, V.; Talanta 149, 110-116, 2016.
- [2] Gorbunova, M.O.; Baulina, A.A.; Kulyaginova, M.S.; Apyari, V.V.; Furletov, A.A.; Garshev, A.V.; Dmitrienko, S.G.; Microchem. J. 145, 729-736, 2019.
- [3] Gu, F.; Marchetti, A.A.; Straume, T.; Analyst 122, 535-537, 1997.
- [4] Eckhoff, K.M.; Maage, A.J.; Food Comp. Anal. 10, 270-282, 1997.
- [5] Gelinias, Y.; Iyengar, V.; Barnes, R.M.; Fresen, J.; Anal. Chem. 362, 483-488, 1998.
- [6] He, Q.; Fei, J.; Hu, S.; Anal. Sci. 19, 681-686, 2003.
- [7] Ingle, J.D.; Crouch, S.R.; "Spectrochemical Analysis, Prentice Hall International", Inc. New Jersey, USA, 1988.
- [8] Povrozin, Y.; Barbieri, B.; "Handbook of Measurement in Science and Engineering", John Wily & Sons, USA, 2016.
- [9] Jeong, Y.; Yoon, J.; Inorganica Chim. Acta. 381, 2-14, 2012.
- [10] Chen, P.; Pan, D.; Mao, Z.; Estuar. Coast. Shelf Sci. 146, 3-41, 2014.
- [11] Tate, J. J.; Gutierrez-Wing, M. T.; Rusch, K. A.; Benton, M. G.; J. Plant Growth Regul. 32, 417-428, 2013.
- [12] Morgenshtein, A.; Sudakov-Boreysha, L.; Dinnar, U.; G. Jakobson, C.; Nemirovsky, Y.; Sens. Actuators B.97, 122-131, 2004.
- [13] Firdaus, M.L.; Alwi, W.; Trinoveldi, F.; Rahayu, I.; Rahmidar, L.; Warsito, K.; Procedia Environ. Sci. 20, 298-304, 2014.
- [14] Khoshmaram, L.; Mohammadi Hergalan, M.; Babadi nazemi, A.; Microchem. J. 171, 106773, 2021.

A simple method for on-site determination of iodide ions by recording fluorescence intensity changes of rhodamine B by a home-made fluorimeter

Leila khoshmaram^{1*}, Maryam Mohammadi², Adel Nazemi Babadi³

1. Associate Prof. of Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.
2. Ph.D student of Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.
3. Ph.D student of Faculty of Electrical Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

Abstract: In present study, a simple and inexpensive method has been presented for on-site determination of iodide ions in various aqueous samples. The proposed method is based on the fluorescence quenching process of rhodamine B and the use of a home-made portable fluorimeter. In the fluorimeter, light-emitting diodes with emission wavelength of 530 nm (as the excitation source) and a mobile phone (as the detector and data processing unit) have been used. Experiments showed that in the presence of iodide ions, the fluorescence intensity of rhodamine B decreases. The fluorescence intensity changes of rhodamine B was determined by taking digital images of rhodamine B solutions and analyzing these images. Digital image analysis showed when the fluorescence intensity of rhodamine B changes, the values of the G and R channels change too. Therefore, the values of these two channels were used as analytical signals for determination of the concentration of iodide ions. After investigating experimental parameters affecting the quenching process of rhodamine B by iodide ions and selection of optimal conditions, based on ΔG as analytical signal, limit of detection was obtained $1.26 \times 10^{-5} \text{ mol l}^{-1}$ and the calibration graph was linear in the range of $2.1 \times 10^{-5} - 2.3 \times 10^{-3} \text{ mol l}^{-1}$ with a correlation coefficient of 0.996. The relative standard deviation for 5 iodide solutions with concentration of $1.57 \times 10^{-5} \text{ mol l}^{-1}$ was 0.83 %. The proposed method was successfully applied to the determination of iodide in water samples with satisfactory recovery range from 98.62% to 108.65%.

Keywords: Iodide; Fluorescence quenching; Home-made fluorimeter; Image analysis; Water samples