

## طراحی حسگر نوری جهت اندازه گیری یون سیانید براساس تثبیت شناساگر نین

## هیدرین در بستر سل-ژل

سجاد قائد رحمتی، ویدا رضایی\*

دانشکده شیمی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۲۱

تاریخ تصحیح: ۹۹/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۰۲

## چکیده

در این پروژه یک حسگر نوری گزینش پذیر بر اساس محبوس کردن شناساگر حساس و گزینش پذیر (نین هیدرین) در حفره های شبکه سل-ژل برای اندازه گیری مقادیر ناچیز یون سیانید طراحی شد. اثر پارامترهای موثر بر رفتار حسی حسگر بررسی گردید. حسگر ساخته شده دارای حساسیت و گزینش پذیری بالایی بوده و هیچگونه نشست شناساگر به خارج از حفره های شبکه سل-ژل مشاهده نشد. در ساخت بستر حسگر از تترااتوکسی سیلان به عنوان پیش ماده در فرایند سل-ژل و در حضور کاتالیزور اسیدی استفاده شد. حسگر ایده ال در شرایط نسبت آب به پیش ماده (R) برابر با ۴ و غلظت شناساگر  $0/112 \text{ mol L}^{-1}$  ساخته شد. این حسگر نتایج بسیار تکرارپذیری را نشان داد. بطوریکه مقدار انحراف استاندارد برای دو غلظت  $0/1 \mu\text{g mL}^{-1}$  و  $3/0$  به ترتیب  $3/31$  و  $2/09$  به دست آمد. زمان پاسخ حسگر کمتر از ۵ ثانیه می باشد. بررسی اثر مزاحمت ها بر روی اندازه گیری یون سیانید نشان داد که با محبوس کردن شناساگر نین هیدرین در حفره های شبکه سل-ژل و تنظیم اندازه ی حفره ها می توان گزینش پذیری حسگر را افزایش داد. از این حسگر برای اندازه گیری سیانید در نمونه های آب شهر و پساب کارخانه آبکاری فلزات بطور موفقیت آمیز استفاده شد.

**کلمات کلیدی:** حسگر نوری، سل-ژل، یون سیانید، طیف سنجی فرابنفش-مرئی.

## ۱- مقدمه

سمیت خیلی زیاد سیانید، خطرات و زیان های آن برای محیط زیست و موجودات زنده از یک طرف و استفاده از آن در صنعت بطور مداوم از طرف دیگر باعث ایجاد نیاز به یک روش راحت و حساس برای اندازه گیری این یون شده است. اندازه گیری این یون نه فقط برای شیمی دانان تجزیه بلکه برای محققان زمینه های گوناگون از جمله پزشکی- دارویی، دادگاهی- قانونی و همچنین در کلینیک ها نیز اهمیت دارد [۱].

یون سیانید علیرغم سمی بودن، در صنایع مختلف از جمله معدنکاری، آبکاری، تمیز کردن فلزات، داروها، پلاستیک ها و غیره به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند. پسماندهای صنعتی آلوده به سیانید ممکن است منابع آب را آلوده کرده و در نتیجه سلامتی انسان را تهدید کند. تهدید این یون در بدن به این صورت است که یون سیانید (CN<sup>-</sup>) با اتم های آهن هموگلوبین برهم کنش می دهد. هموگلوبین سیانید را به قسمت های مختلف بدن برده و شرایط برای اتصال سیانید به آنزیم های سیتوکروم اکسیداز و اختلال در عملکرد این آنزیم ایجاد می شود. این آنزیم ها وسیله ی حیاتی سلول ها برای استفاده از اکسیژن موجود در سلول هستند و ایجاد اختلال در عملکرد آنها، منجر به مرگ بدن می شود. در صورت تنفس غلظت های بالای سیانید موجود در هوا آسیب های شدید مغزی و قلبی بروز کرده و باعث مرگ می شود. در صورت تماس طولانی مدت با مقدار کم سیانید، مشکلات تنفسی، تهوع، مشکلات خونی، سردرد و بزرگ شدن غده تیروئید به همراه خواهد داشت. افزایش سیانید در خون منجر به ضعف انگشتان و زانوها، مشکلات حرکتی، ضعف بینایی و مشکلات شنوایی می شود [۲].

سیانید تا به حال توسط روش های متنوعی از قبیل کروماتوگرافی گازی [۳-۵]، پتانسیومتری [۶،۷]، فلوریمتری [۸-۱۰]، کروماتوگرافی فضای فوقانی [۵] و ... اندازه گیری شده است. استفاده از حسگرهای نوری می تواند یک روش دیگری برای اندازه گیری یون سیانید در نظر گرفته شود. استفاده از روش هایی که در آنها بتوان حضور گونه ی هدف را با چشم غیر مسلح تشخیص داد بسیار مورد علاقه ی دانشمندان قرار گرفته است. از جمله این روش ها می توان به روشهای رنگ سنجی اشاره کرد. در سال های اخیر طراحی و ساخت حسگرهای نوری جهت اندازه گیری گونه ی هدف به درجه خاصی از اهمیت دست یافته است. دلایل متعددی برای توجه زیاد به این حسگرها وجود دارد: روش ساخت آسان، حدتشخیص عالی، زمان پاسخ مناسب، گزینش پذیری بالا، استحکام در رابر محیط های خورنده و رادیواکتیو، استفاده بصورت کنترل از راه دور و قیمت مناسب. از دیگر مزایای این نوع حسگرها می توان به توانایی آنها در تشخیص حضور نمونه بصورت چشمی با تغییر رنگ حسگر اشاره نمود که نیاز به دستگاه ها ی پیچیده و گرانبه ندارد.

یکی از مهمترین عوامل موثر بر عملکرد حسگرها نوع ماده ی بکار رفته در تهیه ی حسگر بعنوان بستر یا غشاء جهت تثبیت و محبوس کردن عنصر حسی می باشد [۱۱،۱۲]. دو نوع از موادی که به عنوان بستر در تهیه حسگر بکار برده می شود شامل پلیمر ها (مانند پلی استیرن، پلی وینیل کلراید، سلولوز استات، پلی متیل سیلوکسان و ...) و مواد سل-ژل می باشد. فرایند سل-ژل یک روش ساده و پر کاربرد برای تهیه مواد شیشه مانند شفاف با تخلخل بسیار بالا می باشد. بافت سل - ژل یک بستر نگهدارنده بی خطر و مناسب برای تولید حسگرهای زیستی و غیر زیستی می باشد. در این روش از هیدرولیز و تراکم یک پیش ماده که اصولا الکوکسیدهای فلزی هستند یک ماده با شبکه بسیار متخلخل و دارای حفره های بسیار زیاد بدست می آید. جهت ساخت سل - ژل علاوه بر پیش ماده از آب جهت هیدرولیز، الکل بعنوان کمک حلال برای حل شدن پیش ماده در آب و کاتالیزر (اسید

یا باز) استفاده می گردد. بافت متخلخل حاصل دارای استحکام فیزیکی و شیمیایی بالایی می باشد و می تواند در تهیه ی حسگرها بعنوان بستر جهت تثبیت عامل حسی درون حفره ها بکار برده شود. جالب ترین مزیت استفاده از فرایند سل-ژل در تهیه ی حسگرها این است که با کنترل شرایط حاکم بر ساخت سل-ژل مانند نسبت آب به پیش ماده (R)، نوع کاتالیزور، pH محلول سل و دما می توان اندازه حفره ها و میزان تخلخل بافت حاصل را تنظیم کرد. کنترل این پارامترها در ساخت حسگر سل-ژل بسیار مهم می باشد زیرا اندازه ی حفره های بافت سل-ژل اگر بزرگ باشد باعث تراوش و نشت شناساگر(عنصر حسی) از حسگر به درون محلول می شود که این خود به تبع باعث کاهش حساسیت و دقت حسگر می شود و اگر خیلی کوچک باشد مانع نفوذ گونه ی هدف به داخل حفره و برهمکنش با شناساگر می شود و حساسیت حسگر کاهش می یابد. در مقایسه با سایر حسگرها، حسگرهای تهیه شده از یک لایه نازک از سل-ژل، حساسیت و گزینش پذیری بالاتر، زمان پاسخ سریع تر و استحکام شیمیایی و فیزیکی بیشتری دارند [۱۵-۱۳].

هدف از این پروژه تهیه ی یک حسگر نوری لایه نازک برپایه ی روش سل-ژل برای اندازه گیری یون سیانید می باشد. برای این هدف، تری کتو هیدریندین هیدرات (نین هیدرین) بعنوان شناساگر (عنصر حسی) یون سیانید درون حفره های بافت سل-ژل محبوس شد. عوامل موثر بر ساخت سل-ژل و همچنین عوامل موثر بر واکنش بین یون سیانید و نین هیدرین بهینه گردید.

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- مواد مورد استفاده

اتانول، اسید کلریدریک و پتاسیم سیانید از شرکت مرک خریداری شد. نین هیدرین (ninhydrin) و تترا اتوکسی سیلان (TEOS) از شرکت سیگما آلدریچ خریداری شد. محلول اصلی پتاسیم سیانید ( $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$ ) از حل کردن  $0.0620$  گرم نمک KCN در بالن حجمی  $250$  میلی لیتری و به حجم رساندن آن با آب دوبار تقطیر تهیه شد. محلولهای رقیق تر جهت اندازه گیری به صورت روزانه با استفاده از این محلول تهیه گردید. محلول  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  اسیدکلریدریک از حل کردن  $0.207$  میلی لیتر HCl غلیظ در بالن حجمی  $25$  میلی لیتری و رساندن آن به حجم تهیه گردید.

### ۲-۲- دستگاهها

کلیه طیفها به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر دو پرتوی فرابنفش-مرئی (Specord 205, Analytic Jena, Germany) ثبت گردید. تمام اندازه گیری های pH توسط دستگاه pH متر مدل Metrohm 780 انجام شده است. برای پوشش دادن محلول سل-ژل روی لام های شیشه ای جهت تهیه لایه نازک از دستگاه لایه نشانی دورانی (spin Coater 1200, Irmantec, Iran) استفاده شده است.

### ۲-۳- طرز تهیه فیلم نازک سیلیکا حاوی شناساگر (حسگر نوری)

در این پروژه از لام های شیشه ای با ابعاد مناسب (۲×۲) تهیه شده اند به عنوان بستر برای لایه نشانی محلول سل-ژل حاوی شناساگر استفاده شده است. قبل از لایه نشانی برای فعال کردن گروه های سیلانولی روی سطح شیشه، شیشه ها به مدت ۱۲ ساعت در اسید نیتریک غلیظ قرار داده، سپس با آب فراوان و اتانول شستشو داده شد. جهت ساخت محلول سل از روش سل-ژل کاتالیز شده با اسید استفاده شد. در این پروژه از اسید کلریدریک به عنوان کاتالیزور به دلیل ایجاد بافت پلیمری یکنواخت تر استفاده گردید. برای تهیه محلول سل جهت ساخت حسگر، ۱ میلی لیتر TEOS و ۰/۵ میلی لیتر اتانول به یک بالون ته گرد اضافه شد و به مدت ۲۰ دقیقه با هم زن مغناطیسی هم زده شد. زمانیکه تتراتوکسی سیلان به طور کامل در اتانول حل شد، ۰/۳۲ میلی لیتر اسید کلریدریک ۰/۱ مولار به محلول در حال هم زدن اضافه گردید. پس از ۲۰ دقیقه ۲ میلی لیتر محلول اتانولی نین هیدرین با غلظت  $0.112 \text{ mol L}^{-1}$  به محلول در حال هم زدن اضافه گردید. سپس در بالن توسط پارافیلیم بسته شد. محلول ها قبل از عمل لایه نشانی بر روی لام ها به مدت ۱۰ روز به منظور انجام واکنش پلیمریزاسیون و پیرسازی دردمای اتاق رها شدند. با گذشت زمان و انجام پلیمریزاسیون ویسکوزیته ی محلول افزایش می یابد. زمانیکه ویسکوزیته ی محلول به یک مقدار مناسب رسید با استفاده از دستگاه لایه نشانی چرخشی به مدت ۱۵ ثانیه به صورت یک لایه نازک و کاملاً یکنواخت در دو طرف لام تثبیت گردید. حسگرهای تهیه شده برای تکمیل چگالش و پیرسازی و خشک شدن (خارج شدن حلال) به مدت ۴ روز در دمای اتاق رها شدند. حسگرهای تهیه شده دارای یک لایه نازک و یکنواخت از محلول سل و کاملاً بدون ترک بودند.

### ۲-۴- روش کار

غلظت های متفاوتی از محلول پتاسیم سیانید ( $5/0.03 - 0.00 \mu\text{g mL}^{-1}$ ) و ۲/۵ میلی لیتر محلول NaOH ۵ مولار به بالن های حجمی ۲۵ میلی لیتر اضافه و با آب مقطر به حجم رسانده شد. حسگرهای آماده شده به مدت پنج ثانیه در داخل محلول که توسط همزن مغناطیسی هم زده می شد قرار گرفت. رنگ حسگر در اثر نفوذ یون های سیانید به درون حفره و برهمکنش با شناساگر از بی رنگ به آبی تغییر پیدا کرد. حسگر پس از بیرون آوردن از محلول برای اندازه گیری جذب به درون دستگاه طیف سنجی فرابنفش- مرئی منتقل شد. جذب حسگر در طول موج ۵۹۸ ثبت گردید. میزان جذب متناسب با غلظت محلول سیانید است. تمام مراحل کار در دمای اتاق انجام شد.

### ۳- بحث و نتیجه گیری

۲ و ۳- دی هیدروکسی ایندین، او ۳- دی اون (2,2-dihydroxyindane-1,3-dione) یا نین هیدرین (NH) ترکیبی شیمیایی است که در واقع محصول هیدراته ی ترکیب ۳،۲،۱- ایندن تری- اون می باشد. این ترکیب برای نخستین بار توسط روهمان در

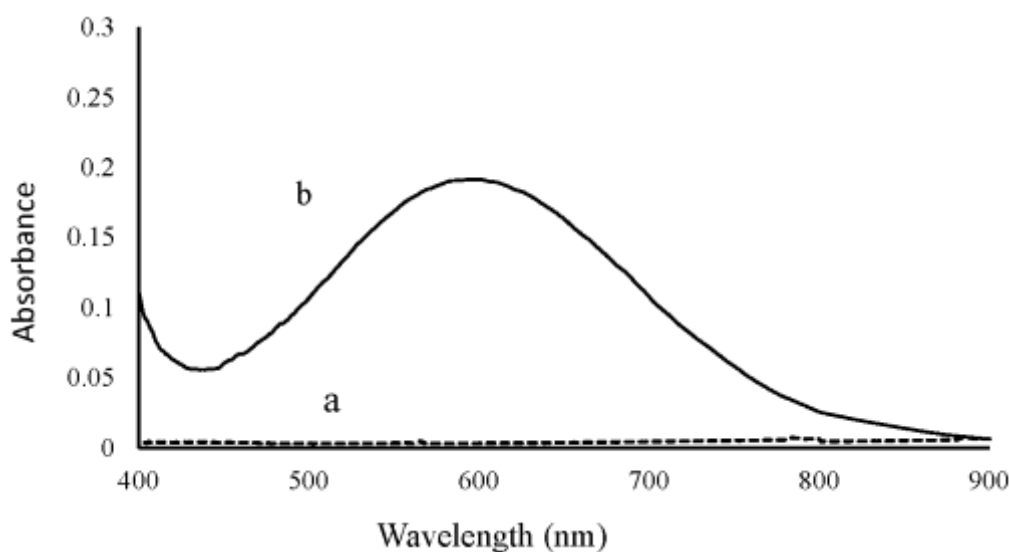
سال ۱۹۱۰ سنتز شد [16]. از این شناساگر برای اندازه‌گیری سیانید در محیط قلیایی به دلیل حساسیت بالایی که نسبت به این یون دارد استفاده شده است. نین هیدرین شناساگر بی‌رنگی است که در حضور یون سیانید و در محیط قلیایی تبدیل به کمپلکس آبی رنگ ... می‌شود.

### ۳-۱- بررسی طیف NH محبوس شده در شبکه فیلم نازک سل-ژل

خواص طیفی NH محبوس شده در حفره‌های شبکه‌ی سل ژل لایه نازک قبل و بعد از قرار گرفتن در محلول سیانید مورد بررسی قرار گرفت. لایه حسگر حاوی شناساگر NH بی‌رنگ می‌باشد. پس از قرار گرفتن حسگر درون محلول سیانید و در نتیجه ی نفوذ یونهای سیانید داخل حفره‌ها و برهمکنش با شناساگر NH کمپلکس NH-CN تشکیل می‌شود. تشکیل این کمپلکس باعث تغییر رنگ حسگر از بی‌رنگ به آبی می‌شود. شکل ۱ تغییر رنگ حسگر قبل و پس از قرار گرفتن در محلول سیانید را نشان می‌دهد. تشکیل کمپلکس NH-CN در سل-ژل باعث ایجاد یک طیف جذبی قوی با طول موج ماکزیمم جذب در ۵۹۸ nm شد. در نتیجه این طول موج به عنوان مناسب‌ترین طول موج برای اندازه‌گیری‌های جذب حسگر نوری انتخاب شد (شکل ۲).



شکل ۱: تغییر رنگ فیلم نازک روی شیشه (a) در غیاب و (b) در حضور محلول سیانید



شکل ۲: طیف جذبی حسگر (a) در غیاب و (b) در حضور محلول سیانید

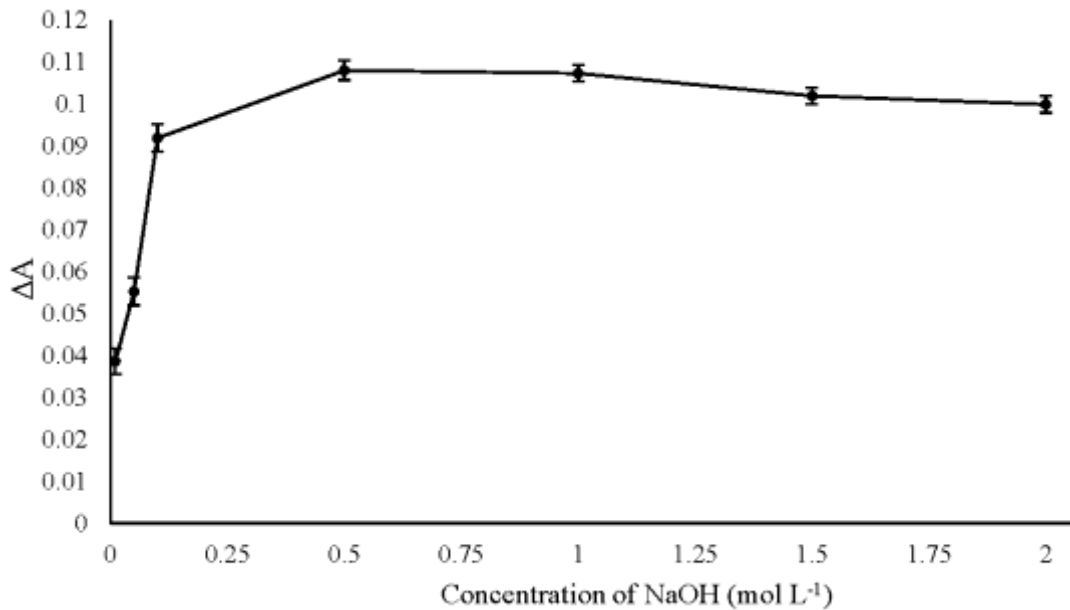
### ۳-۲-۲- مطالعه ی متغیر های موثر بر پاسخ حسگر

#### ۳-۲-۳-۱- بهینه سازی مقدار شناساگر NH بر روی پاسخ حسگر

بهینه کردن مقدار شناساگر درون محلول سل، بر روی پاسخ حسگر تاثیر بسزایی دارد. بدین منظور هنگام ساخت حسگر، مقادیر متفاوت از شناساگر NH درون محلول سل-ژل اضافه شد و پس از آماده شدن حسگر مقدار اختلاف جذب بین حسگر حاوی کمپلکس CN-NH در محلول  $2 \mu\text{g mL}^{-1}$  سیانید و و حسگر حاوی شناساگر NH در محلول شاهد (حسگر شاهد) ثبت شد. با توجه به نتایج بدست آمده با افزایش مقدار NH تا  $0/006$  گرم جذب حسگر افزایش می یابد و پس از آن ثابت می شود. اگر مقادیر بالاتر شناساگر درون محلول سل ریخته شود بدلیل اینکه وارد حفره های شبکه ی تشکیل شده در مرحله ی پلیمریزاسیون نمی شود هنگام شستشوی حسگر از سطح غشا خارج می شوند. در نتیجه مقدار  $0/006$  گرم به عنوان بهترین مقدار شناساگر انتخاب شد.

#### ۳-۲-۳-۲- بررسی اثر غلظت NaOH محلول سیانید بر روی جذب حسگر

واکنش بین یون سیانید و شناساگر NH باید در محیط قلیایی و در حضور یونهای هیدروکسی باشد. بر این اساس بدلیل تاثیر غلظت سود بر تشکیل کمپلکس، مقدار آن بهینه شد. برای بهینه کردن این پارامتر، محلول های با غلظت  $2 \mu\text{g mL}^{-1}$  یون سیانید با غلظت های متفاوت از NaOH تهیه شد و اختلاف جذب حسگر نسبت به شاهد (حسگر حاوی شناساگر NH) پس از قرار گرفتن در این محلول ها ثبت شد. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۳ بررسی جذب حسگر در محلول سیانید حاوی NaOH در بازه  $1/0 - 0/5$  مولار بیشترین مقدار را دارد. در نتیجه  $0/5 \text{ mol L}^{-1}$  NaOH به عنوان غلظت بهینه در محلول سیانید انتخاب شد.



شکل ۳: اثر غلظت NaOH بر روی جذب حسگر

### ۳-۲-۳- بررسی برگشت پذیری و زمان پاسخ حسگر

یکی از ویژگی‌های با اهمیت حسگرهای نوری برگشت‌پذیری آنها می‌باشد. این ویژگی باعث می‌شود که از یک حسگر بتوان چندین مرتبه استفاده کرد. نتایج بررسی برگشت پذیری حسگر نشان داد که برگشت پذیری کامل در محلول آب اکسیژنه (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) به دست می‌آید. بطوریکه در محلول ۳٪ درصد آب اکسیژنه (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) غشا در مدت کمتر از چند ثانیه به رنگ اولیه خود باز می‌گردد.

از مهمترین پارامترهای تجزیه‌ای حسگرهای نوری زمان پاسخ است که در واقع نشان دهنده حساسیت حسگر نسبت به آنالیت مورد اندازه‌گیری می‌باشد. در این پروژه زمان پاسخ مورد نظر در محلول ۱ μg mL<sup>-1</sup> از یون سیانید در شرایط بهینه مورد بررسی قرار گرفت. به محض قرار گرفتن حسگر در درون محلول حاوی یون سیانید در کمتر از ۵ ثانیه رنگ حسگر از بی رنگ به آبی تیره تغییر پیدا کرد، که این نمایانگر این است که حسگر طراحی شده حساسیت بالایی نسبت به یون سیانید در محیط قلیایی دارد.

### ۳-۳- ارقام شایستگی

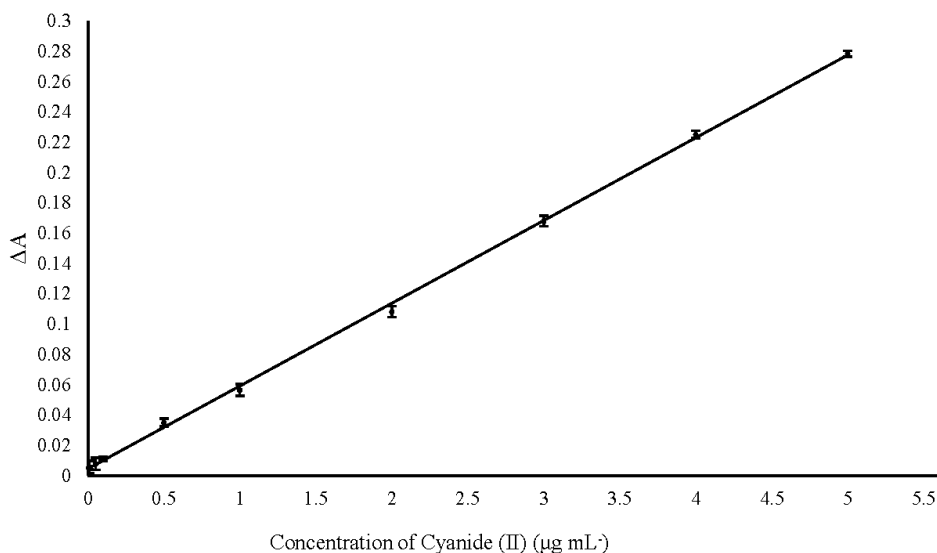
نمودار کالیبراسیون بوسیله رسم کردن جذب غشاء در طول موج ۵۹۸ nm بر اساس غلظت یون سیانید در شرایط بهینه رسم گردید. با توجه به نمودار شکل ۴ دامنه خطی روش پیشنهادی برای اندازه‌گیری یون سیانید ۵/۰۰-۰/۰۰۳ میکروگرم بر میلی لیتر (mol L<sup>-1</sup> × ۱۰<sup>-۷</sup> - ۱/۹۱ × ۱۰<sup>-۴</sup>) است. معادله خط مذکور  $\Delta A = 0.0546 C + 0.0064$  می‌باشد که در آن  $\Delta A$  اختلاف جذب بین حسگر حاوی کمپلکس CN-NH و حسگر حاوی شناساگر NH و C غلظت سیانید بر حسب میکروگرم بر میلی

لیتر است. ضریب تعیین برای حسگر پیشنهادی ( $R^2$ ) برابر  $0/9994$  همراه با حد تشخیص  $0/0013 \mu\text{g mL}^{-1}$  ( $10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$ )  $\times 4/99$  بدست آمد.

### ۳-۳-۱- دقت و صحت

برای بررسی میزان دقت حسگر پیشنهادی از دو پارامتر تکثیرپذیری و تکرارپذیری استفاده شد. برای بررسی میزان تکثیرپذیری حسگر نوری، از شش حسگر که در شرایط یکسان تهیه شده بودن استفاده شد. اختلاف جذب هر حسگر نسبت به شاهد بعد از قرارگرفتن در محلول سیانید با غلظت  $2 \mu\text{g mL}^{-1}$  که در شرایط بهینه تهیه شده بود، اندازه گیری شد. انحراف استاندارد نسبی پاسخ حسگرها  $1/85$  درصد تعیین شد. از طرف دیگر برای تعیین تکرار پذیری، یک حسگر در شرایط بهینه تهیه شد. سپس اختلاف جذب حسگر نسبت به شاهد پس از قرارگرفتن در محلولهایی با غلظت  $0/1 \mu\text{g mL}^{-1}$  و  $3/0$  یون سیانید در شرایط بهینه ۶ مرتبه اندازه گیری شد. با توجه به نتایج به دست آمده انحراف استاندارد برای دو غلظت  $0/1 \mu\text{g mL}^{-1}$  و  $3/0$  به ترتیب  $3/31$  و  $2/09$  به دست آمد.

جهت بررسی صحت روش، آزمایش های بازیابی روی محلول های استاندارد یون سیانید با غلظت های  $0/008 \mu\text{g mL}^{-1}$  و  $1/0$  و  $3/0$  انجام شد. اندازه گیری جذب هر محلول ۴ بار تکرار شد. با توجه به نتایج محاسبات، مقادیر بازیابی به  $97,5$ ،  $98$  و  $102$  درصد بدست آمد. این نتایج و محاسبات مربوط به آزمون  $t$  نشان می دهد که بین مقادیر واقعی و مقادیر اندازه گیری شده با این حسگر مطابقت وجود دارد.



شکل ۴: منحنی کالیبراسیون برای یون سیانید

### ۳-۴- بررسی اثر مزاحمت کاتیون ها و آنیون ها

جهت بررسی کارایی و گزینش پذیری یک روش تجزیه ای باید اثر مزاحمت احتمالی سایر عناصر بروی نتایج آن روش مورد مطالعه قرار گیرد. بدین ترتیب تحت شرایط بهینه حسگر مورد نظر در محلولهای حاوی یون سیانید و یون مورد نظر قرار داده



شد و جذب آنها در طول موج ۵۹۸ نانومتر مورد اندازه گیری قرار گرفت. کاتیون و آنیون مورد نظر زمانی به عنوان مزاحم تلقی می شود که در اندازه گیری یون سیانید باعث ایجاد  $\pm 5\%$  خطا شود. نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که حسگر پیشنهادی دارای گزینش پذیری خوبی می باشد.

جدول ۱- بررسی اثر مزاحمت یون ها بر روی اندازه گیری  $1 \mu\text{g mL}^{-1}$  یون سیانید

یون مزاحم	[X]/[CN <sup>-</sup> ]
Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Br <sup>-</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , F <sup>-</sup> , Bi <sup>3+</sup> , Ba <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , Co <sup>2+</sup> , Al <sup>3+</sup> , Ni <sup>2+</sup> , Sb <sup>5+</sup> , Sn <sup>4+</sup>	الف ۱۰۰۰
Ag <sup>+</sup>	۷۵۰
Hg <sup>2+</sup> , Cu <sup>2+</sup>	۲۵۰

الف: ماکزیمم نسبت بررسی شده

### ۳-۵- آنالیز نمونه های حقیقی

برای ارزیابی حسگر طراحی شده در نمونه های حقیقی، مقدار سیانید در آب شهر و پساب کارخانه آبکاری مورد بررسی قرار گرفت. نمونه های آب قبل از اعمال روش با استفاده از کاغذ صافی صاف شد تا ذرات معلق در آن خارج شوند. آزمایشات بازیابی با استفاده از افزایش مقادیر مشخصی از نمونه استاندارد یون سیانید به نمونه حقیقی انجام شد. نتایج این آزمایش در جدول ۲ قرار داده شده است. مقادیر بازیابی برای نمونه های اضافه شده، توانایی حسگر در بازیابی و اندازه گیری یون سیانید در نمونه های مختلف را اثبات می کند.

جدول ۲- اندازه گیری سیانید توسط حسگر در نمونه حقیقی

نمونه	غلظت سیانید ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )		
	مقدار اضافه شده	مقدار بدست آمده الف	(%) بازیابی
آب شهر	۰	-	-
	۱	$0.97 \pm 0.056$	۹۷/۰
	۲	$2.02 \pm 0.087$	۱۰۱/۰
	۳	$2.96 \pm 0.048$	۹۸/۷
	۴	$4.08 \pm 0.090$	۱۰۲/۰
پساب کارخانه	۰	$0.37 \pm 0.013$	-
	۱	$1.35 \pm 0.042$	۹۸/۰
	۲	$2.38 \pm 0.046$	۱۰۰/۵
	۳	$3.36 \pm 0.044$	۹۹/۶

الف)  $(\bar{x} \pm ts/\sqrt{n})$  (  $n=3, \alpha = 0.05$  )

## ۴- نتیجه گیری

در این پروژه از فرایند سل-ژل برای طراحی و ساخت یک حسگر نوری بسیار حساس و انتخابی برای اندازه گیری سیانید استفاده شد. حسگر طراحی شده بر اساس تثبیت شناساگر نین هیدرین بر روی لامهای شیشه‌ای در بستر پلیمر سل-ژل تهیه گردید. برای تهیه فیلم پلیمری بر اساس فرایند سل-ژل از اسید به عنوان کاتالیزور استفاده شد که باعث ایجاد بافت پلیمری مناسبتری می‌شود. حسگر طراحی شده قادر به اندازه گیری یون سیانید در محدوده غلظتی ۵/۰-۰/۰۰۳ میکروگرم بر میلی لیتر است. حسگر طراحی شده کارایی بسیار خوبی در پارامترهایی نظیر تکرارپذیری، طول عمر، برگشت پذیری و زمان پاسخ دارد. مزیت دیگر این حسگر استفاده آسان و همچنین هزینه طراحی کم آن می‌باشد. کارایی حسگر طراحی شده بر پایه ی روش سل-ژل با برخی از روشهای گزارش شده قبلی مقایسه شد و نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی از نظر بسیاری از پارامترهای تجزیه ای از قبیل گستره خطی، حد تشخیص و زمان پاسخ قابل مقایسه با (یا حتی بهتر) بسیاری از روش های قبلی می باشد.

جدول ۳: مقایسه ویژگیهای تجزیه ای روش پیشنهادی با روشهای گزارش شده قبلی

نوع سنسور	زمان پاسخ (S)	حد تشخیص ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )	رنج خطی ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )	رفرنس
زیست حسگر پتانسیومتری	۶۰	۰/۱۶	۰/۵۲ - ۷/۸۰	[17]
زیست حسگر آمپرومتری	۶۰-۱۲۰	۰/۲۶	۰/۰۱ - ۰/۳۱	[18]
حسگر نوری	۴۸۰-۷۲۰	۶۳	۱۰۰-۲۵۰۰	[19]
حسگر نوری	۴۲۰-۶۰۰	۰/۱۱	۰/۲۶ - ۶/۵۰	[20]
حسگر نوری	چندثانیه	۰/۱۴۳	-	[21]
حسگر نوری	-	۰/۰۱	۵/۲-۱۰/۴	[22]
حسگر نوری	۵	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۳ - ۵/۰۰۰	روش پیشنهادی

## ۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه دامغان از این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را دارند.

## ۶- مراجع

- [1] J. Ma, P.K. Dasgupta, *Anal. Chim. Acta.* **673** (2010) 117.
- [2] J. Hamel, *Crit. Care Nurse.* **31** (2011) 72.
- [3] M.C. Shin, Y.S. Kwon, J.H. Kim, K. Hwang, J.S. Seo, *Anal. Sci. Technol.* **32** (2019) 88.
- [4] K.E. Murphy, M.M. Schantz, T.A. Butler, B.A. Benner, L.J. Wood, G.C. Turk, *Clin. Chem.* **52** (2006) 458.
- [5] S. Felby, *Forensic Sci. Med. Pathol.* **5** (2009) 39.
- [6] T.A. Saleh, A.M. Abulkibash, *Appl. Water Sci.* **1** (2011).
- [7] T.A. Ali, G.G. Mohamed, A.L. Saber, L.S. Almazroai, *Int. J. Electrochem. Sci.* **12** (2017) 67.

- [8] L. Long, X. Yuan, S. Cao, Y. Han, W. Liu, Q. Chen, Z. Han, K. Wang, *ACS Omega*. **4** (2019) 10784.
- [9] I. Yahaya, Z. Seferoglu, *Photochemistry and Photophysics - Fundamentals to Applications*, 1st ed. Intechopen (2018) pp. 179.
- [10] J. Wang, Y. Qiu, D. Li, X. Liu, C. Jiang, L. Huang, H. Wen, J. Hu, *Microchim. Acta*. **186** (2019) 809.
- [11] B. Adhikari, S. Majumdar, *Prog. Polym. Sci.* **29** (2004) 699.
- [12] I. Oehme, S. Prattes, O.S. Wolfbeis, G.J. Mohr, *Talanta*. **47** (1998) 595.
- [13] A.C. Pierre, G.M. Pajonk, *Chem. Rev.* **102** (2002) 4243.
- [14] C. Mcdonagh, F. Sheridan, T. Butler, B.D. Maccraith, *J. Non. Cryst. Solids*. **194** (1996) 72.
- [15] S. Blair, R. Katakya, D. Parker, *New J. Chem.* **26** (2002) 530.
- [16] T.C. Bruice, F.M. Richards, *J. Org. Chem.* **23** (1958) 145.
- [17] M. Mazloum Ardakani, M. Khayat Kashani, M. Salavati-Niasari, a. a. Ensafi, *Sensors Actuators B Chem.* **107** (2005) 438.
- [18] A. Amine, M. Alafandy, J.M. Kauffmann, M.N. Pekli, *Anal. Chem.* **67** (1995) 2822.
- [19] A. Afkhami, N. Sarlak, *Sensors Actuators, B Chem.* **122** (2007) 437.
- [20] G. Absalan, M. Asadi, S. Kamran, S. Torabi, L. Sheikhian, *Sensors Actuators B Chem.* **147** (2010) 31.
- [21] A. Mohammadi, F.S. Zabihi, N. Chaibakhsh, *J. Photochem. Photobiol. A Chem.* **367** (2018) 384.
- [22] S. Gupta, M. Chhibber, S.K. Mittal, *J. Appl. Electrochem.* **50** (2020) 185.

