



Semnan University

# Applied Chemistry Today

Journal homepage: <https://chemistry.semnan.ac.ir/>

ISSN: 2981-2437



Research Article

## Synthesis of a New Azo Schiff Base Colorimetric Chemosensor for Detection of Cyanide and Acetate Anions

Raziyeh Arabahmadi\*

Chemistry Department, Payame Noor University (PNU), Tehran 19395-3697, Iran

### PAPER INFO

#### Article history:

Received: 18/Dec/2022

Revised: 10/Mar/2023

Accepted: 14/Mar/2023

#### Keywords:

Acetate Anion, Antipyrine, Chemosensor.

### ABSTRACT

In this paper, a novel azo Schiff base chemosensor was synthesized via condensation reaction of 4-Aminoantipyrine with 1-(3-Formyl-4-hydroxyphenylazo)-3-nitrobenzene. The imine sensor was studied via spectroscopic methods IR, <sup>1</sup>HNMR and UV-Vis. The chromogenic behavior of colorimetric chemosensor toward various anions was investigated by UV-Vis spectroscopic. The chemosensor show abrupt changes towards CN<sup>-</sup> and OAC<sup>-</sup> anions in DMF/H<sub>2</sub>O solution in comparison with other anions. Upon the addition of CN<sup>-</sup> and OAC<sup>-</sup> ions to the receptor, the color of the L solution was changed from yellow to purple that was detectable with naked-eye and without any optical instrument. No color changes towards other anions were observed. The detection limits of the azo-azomethine sensor for OAC<sup>-</sup> and CN<sup>-</sup> anions were 2.6 × 10<sup>-5</sup> and 1.4 × 10<sup>-6</sup> mol L<sup>-1</sup>, respectively. Using the association constant value for sensor towards OAC<sup>-</sup> and CN<sup>-</sup> anions was calculated to be 4.2 × 10<sup>3</sup> and 3.07 × 10<sup>4</sup> M<sup>-1</sup>.

DOI: <https://doi.org/10.22075/CHEM.2023.29355.2132>

© 2024 Semnan University.

This is an open access article under the CC-BY-SA 4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

\*Corresponding author:: Assistant Professor of Inorganic Chemistry. E-mail address: r.arabahmadi@pnu.ac.ir.

**How to cite this article:** Arabahmadi, R. (2024). Synthesis of a new azo Schiff base colorimetric chemosensor for detection of cyanide and acetate anions. *Applied Chemistry Today*, 19(70), 75-86. (in Persian)

## سنتر حسگر شیمیایی رنگ سنج جدید شیف باز آزو برای شناسایی آنیون های سیانید

## و استات

راضیه عرب احمدی\*

گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۷	در این پژوهش، حسگر جدیدی با استفاده از واکنش تراکمی ۴- آمینو آنتی پیرن و ۱- (۳- فرمیل -۴- هیدروکسیل فنیل آزو) ۳- نیترو بنزن طراحی و سنتز شدند. حسگر ایمینی (L) توسط روش های طیف سنجی $UV-Vis$ ، $IR$ ، $^1H-NMR$ بررسی و تایید شد. رفتار حسگر شیمیایی رنگ سنج در برابر آنیون های مختلف توسط طیف بینی $UV-Vis$ مورد بررسی قرار گرفت. حسگر شیمیایی (L) تغییرات قابل مشاهده ی به آنیون های استات و سیانید در مقایسه با سایر آنیون ها در حلال دی متیل فرم آمید و آب نشان داد. افزایش آنیون های سیانید و استات به محلول حسگر شیمیایی (L) تغییر رنگ از زرد به بنفش مشاهده شد که با چشم غیر مسلح بدون نیاز به هر نوع دستگاه مشاهده نشد. حد تشخیص حسگر آزو-آزومتین برای آنیون های استات و سیانید بترتیب، $2/6 \times 10^{-5}$ و $1/4 \times 10^{-6}$ مولار اندازه گیری شد. با استفاده از تغییرات طیف جذبی در حلال $DMF/H_2O$ ، ثابت پیوند تشکیل کمپلکس بین حسگر و آنیون های استات و سیانید بترتیب $M^{-1} \times 10^3$ و $3/07 \times 10^4$ محاسبه شد.
بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۱۹	
پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳	
<b>کلمات کلیدی:</b> آنیون استات، آنتی پیرن، حسگر شیمیایی.	
DOI: <a href="https://doi.org/10.22075/CHEM.2023.29355.2132">https://doi.org/10.22075/CHEM.2023.29355.2132</a>	
This is an open access article under the CC-BY-SA 4.0 license. ( <a href="https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/</a> )	

## ۱- مقدمه

این آنیون ها نقش های مهمی در سیستم های بیولوژیکی، محیط زیست و در کاربردهای صنعتی ایفا می کنند. بنابراین توسعه حسگرهای مولکولی کوچک برای آنیون ها همچنان توجه زیادی را به خود جلب می کند [۱-۵]. تعریف مفید و جامع برای حسگر شیمیایی عبارت است از یک دستگاه کوچک که در آن در اثر تداخل شیمیایی (یا یک فرآیند بین آنالیت و حسگر) اطلاعات کمی یا کیفی شیمیایی یا بیوشیمیایی به طور برگشت پذیر به یک سیگنال تجزیه ای مفید تبدیل میشوند. واژه ی برگشت پذیر در تعریف فوق به این معناست که سیگنالهایی که حسگر تولید میکند، نباید متوقف شوند؛ بلکه باید به صورت پویا با تغییرات غلظت نمونه در طی اندازه گیری مرتبط باشند [۶]. حسگرهای شیمیایی نوری در زمینه های مختلفی از جمله پزشکی، صنعت، آنالیز شیمیایی، نظارت بر محیط زیست و تحقیقات زیست پزشکی توسعه یافته و قابل کاربرد هستند [۴].

روش های تجزیه ای مختلفی مانند جذب اتمی، الکتروشیمیایی و کروماتوگرافی برای اندازه گیری و تشخیص یونها در مقالات ارائه شده است. در میان این روشها، اندازه گیری نوری با حس گرهای شیمیایی رنگ سنج و فلورسانس، به دلیل هزینه پایین، حساسیت و گزینش پذیری بالا برای آنالیت و غیرمخرب بودن در تشخیص یونها ترجیح داده می شود.

در حسگرهای شیمیایی نوری از تابش الکترومغناطیس برای ایجاد یک سیگنال تجزیه ای استفاده میشود. در واقع این حسگرها آنالیت را به طور مستقیم اندازه گیری نمیکنند بلکه تغییر در برخی از خواص نوری آنالیت (مثل جذب، فلورسانس، لومینسانس و قطبش) را اندازه گیری میکنند که این تغییرات متناسب با غلظت آنالیت است [۷-۱۳]. اگر در یک حسگر، فاز واکنشگر در اثر برهم کنش با آنالیت مصرف نشود به آن حسگر برگشت پذیر گفته میشود. ویژگی این نوع حسگرها امکان احیاء و تولید مجدد آنها است. حسگرهای برگشت پذیر نوری ساخته شده برای اندازه گیری آنیون ها، که بر اساس تشکیل کمپلکس با یک واکنشگر (لیگاند) عمل میکنند، توسط ترکیباتی مثل اسیدها با واکنشگر اصلی مجددا تولید میشوند. حسگرهای شیمیایی نوری در دو دسته حس گرهای شیمیایی فلورسانسی و حس گرهای شیمیایی رنگ سنجی قابل مطالعه هستند. در نوع اول برهمکنش بین گیرنده (حسگر) و یون (آنالیت) به صورت تغییراتی در فلورسانس قابل مشاهده است اما در حسگرهای شیمیایی رنگ سنجی، سیگنال های منتشر شده از برهمکنش بین گیرنده و آنالیت به صورت تغییر رنگ می باشد از لیگاندهای بازشیف که دارای گروه OH فنولی (واحد پیوندی) متصل به گروه فنیل آزو (واحد رنگزا) هستند میتوان برای شناسایی آنیونهای مهم زیستی استفاده کرد [۱۴-۱۶]. در این پژوهش با استفاده از ۴- آمینو آنتی پیرن و ۱- (۳- فرمیل -۴- هیدروکسیل فنیل آزو) ۳- نیترو بنزن، حسگر آزو- آزومتین (L) سنتز و برای شناسایی آنیون های سیانید و استات در محلول دی متیل فرم آمید و آب (نسبت ۹:۱) استفاده شد. با استفاده از طیف بینی UV-Vis خواص حسگری ایمنی مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- مواد شیمیایی و دستگاه ها

حلال ها و مواد شیمیایی مورد استفاده شامل دی متیل فرم آمید، سالیسیل آلدهید، ۳- نیترو آنیلین، ۴- آمینو آنتی پیرن، نیتريت سدیم، کربنات سدیم، سود و اسید استیک گلاسیال از شرکت های مرک، آلدریچ و فلوکا تهیه شده و بدون هیچ گونه خالص سازی اضافی به کار گرفته شده اند. طیفهای NMR با استفاده از Bruker 300 MHz spectrometer به دست آمدند. طیف های FT-IR در قرصهای KBr با استفاده از Galaxy ثبت گردیدند. طیف های Uv-vis توسط دستگاه Perkin-Elmer Lamda در حلال های DMF و آب ثبت شده است.

## ۲-۲-۲ روش کار

۲-۲-۱- سنتز پیش ماده ۱-(۳-فرمیل-۴-هیدروکسی فنیل آزو)-۳-نیترو بنزن (۱)

الف) به محلول در حال همزدن HCl و آب (نسبت ۸:۱۸)، ۰/۰۲ مول از ۳-نیترو آنیلین افزوده و مخلوط واکنش تا دمای ۷۰°C حرارت داده شد. بعد از کمی سرد شدن، محتوای ارلن در حمام یخ قرار گرفت. سپس ۰/۰۲ مول (۱/۴ گرم) از نیتريت سدیم محلول در ۱۰ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه شد، در این مرحله نمک دی آزونیم تشکیل می شود.

ب) به محلولی از ترکیب ۷/۴ گرم کربنات سدیم در حلال آب (۴۰ میلی لیتر)، ۰/۷ گرم سود اضافه شد. مخلوط واکنش به مدت ۱ ساعت در حمام یخ قرار داده شد. و سپس ۰/۰۲ مول (۲/۵ گرم) سالیسیل آلدهید به محتویات ظرف اضافه گردید.

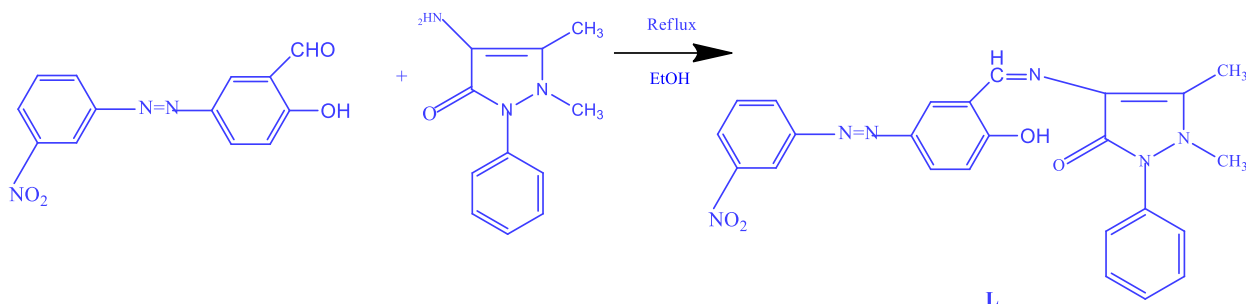
ج) به تدریج در مدت ۳۰ دقیقه محلول (الف) را به محلول (ب) در حال همزدن شدید اضافه گردید. مخلوط واکنش در دمای محیط به مدت ۴ ساعت هم زده شد و در نهایت رسوب حاصله توسط قیف بوخنر صاف و توسط محلول ۱۰٪ NaCl (۱۰ میلی لیتر) شسته شده، و در حلال اتانول گرم متبلور شد.

Brown, yield: 79%, m.p.: 180-184 °C. FTIR (KBr, cm<sup>-1</sup>): 3111 (-OH group), 1665 (-CHO group), 1469 (N=N), 1346 (NO<sub>2</sub> group), 1286 (C-O). <sup>1</sup>H NMR (d<sub>6</sub>-DMSO, 400 MHz, ppm) δ: 11.9 (1H, s), 10.17 (1H, s), 8.42 (2H, t), 8.28 (1H, d), 8.23 (1H, q), 8.01(2H, t), 7.08 (1H, d). λ<sub>max</sub> (nm) (ε (M<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>)): 400 (11000), 550 (32324) nm in DMSO.

## ۲-۲-۲-۲ سنتز لیگاند (L)

۰/۰۲ مول از ۴-آمینو آنتی پیرن به ۱۰۰ میلی لیتر اتانول اضافه گردید. سپس ۰/۰۲ مول از آلدئیدهای آزو (۱) به ظرف واکنش اضافه شد. چند قطره اسید استیک گلاسیال به مخلوط اضافه و به مدت ۶ ساعت رفلکس شد. رسوب حاصل پس از صاف شدن، توسط اتانول شسته شده و خشک شد.

Brownish, yield: 67%, m.p.: 162-165 °C. Anal. Calc. for C<sub>24</sub>H<sub>20</sub>N<sub>6</sub>O<sub>4</sub>, C: 63.17, H: 4.3, N: 18.41 Found: C: 63.87, H: 3.9, N: 18.57 %. FTIR (KBr, cm<sup>-1</sup>): 3437 (-OH group), 1658 (C=N group), 1525 (phenol ring), 1489 (N=N), 1292 (C-O). <sup>1</sup>H NMR (d<sub>6</sub>-DMSO, 400 MHz, ppm) δ: 14.1(1H, s, OH-phenolic), 10.0(1H, s, CH = N), 8.6 (4H, ArH), 7.7 (3H, ArH), 7.5 (4H, ArH), 7.1(1H, ArH), 3.2(3H, s, N-Me), 2.5(3H, s, C-Me). λ<sub>max</sub> (nm) (ε (M<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>)): 270(30000), 360(45000), 490(500) in DMF.



طرح ۱: سنتز حسگر شیمیایی (L)

### ۳- بحث و نتایج

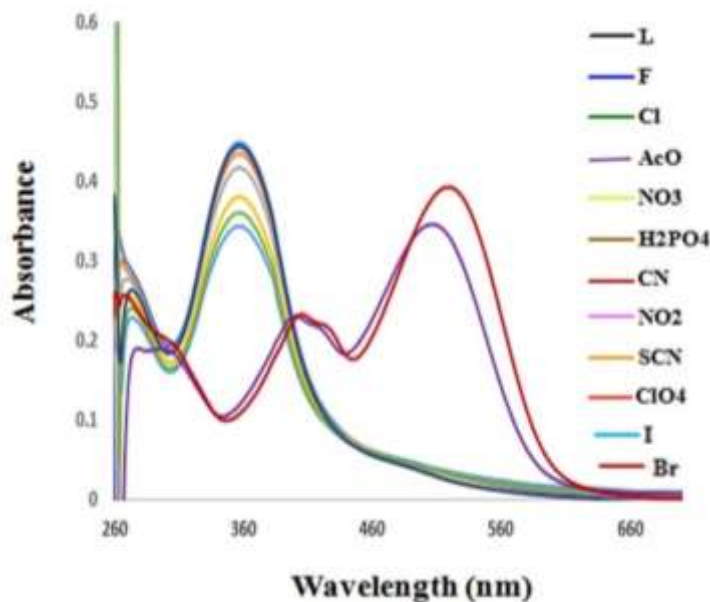
از واکنش تراکمی مشتق آزو سالیسیل آلدهید { ۱- (۳- فرمیل -۴- هیدروکسیل فنیل آزو) -۳- نیترو بنزن } با ۴- آمینو آنتی پیرن، لیگاندهای جدید آزو- آزو متین به دست آمد. طیف زیر قرمز آلدهید آزو نشان می دهد که ارتعاش کششی گروه C=O آلدهیدی در ناحیه  $1664 \text{ cm}^{-1}$ ، ارتعاش کششی قوی C-O در ناحیه  $1286 \text{ cm}^{-1}$  و ارتعاش کششی گروه N=N در ناحیه  $1469 \text{ cm}^{-1}$  ظاهر شده است (شکل ۱S). در طیف زیر قرمز لیگاند (L) عدم وجود جذب گروه C=O و هم چنین وجود ارتعاشات کششی قوی C=N در ناحیه  $1658 \text{ cm}^{-1}$ ، به وضوح نشان دهنده وجود پیوند ایمینی و تشکیل لیگاند باز - شیف در هر مورد می باشد. ارتعاش کششی گروه C-O در ناحیه  $1292 \text{ cm}^{-1}$  ظاهر شده است (شکل ۳S). در طیف جذبی لیگاند (L)، انتقالات  $\pi \rightarrow \pi^*$  کروموفور آزو در  $360 \text{ nm}$  ظاهر شده است. نوار جذبی موجود در ناحیه  $490 \text{ nm}$  به انتقال بار درون لیگاندی  $n \rightarrow \pi^*$  گروه آزو نسبت داده می شود [۱۷].

طیف  $^1\text{H-NMR}$  پیش ماده آزو، جابجایی شیمیایی پروتون گروه هیدروکسی (OH) در ناحیه  $11/9 \text{ ppm}$ ، هیدروژن HC=O در ناحیه  $10/17 \text{ ppm}$  و هیدروژنهای آروماتیک را در محدوده  $7/0-8/4 \text{ ppm}$  نشان می دهد (شکل ۲S). پیک مشاهده شده در  $14/1 \text{ ppm}$  مربوط به هیدروژن فنولی (OH) لیگاند است و هیدروژنهای ایمینی (N=CH) لیگاند در ناحیه  $10/0 \text{ ppm}$  قابل مشاهده است (شکل ۴S).

### ۳-۱- بررسی طیف جذبی UV-Vis لیگاند (L) در حضور آنیون ها

رفتار سنسوری لیگاند (L) در برابر آنیون های  $\text{CN}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{ClO}_4^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{OAC}^-$ ,  $\text{SCN}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  در محلول دی متیل فرم آمید و آب (نسبت ۹:۱) توسط طیف جذبی UV-Vis مورد مطالعه قرار گرفته اند. با افزایش آنیون ها به حسگر تغییرات طیف جذبی ثبت شده است. با افزایش آنیون های استات و سیانید به حسگر شیمیایی (L)، تغییر رنگ از زرد روشن به بنفش مشاهده شد که با چشم غیرمسلح بدون نیاز به هر نوع دستگاه طیف سنج قابل تشخیص است و این در حالی است که در حضور آنیون های دیگر هیچ تغییر رنگ محسوسی مشاهده نشد. علاوه بر این حسگر شیمیایی (L) در پاسخ به آنیون های

استات و سیانید جابجایی به سمت طول موجهای بلندتر (red shift) را نشان می دهد (شکل ۱). با توجه به تغییرات قابل مشاهده در طیف جذبی، لیگاند آزو-آزومتین بعنوان یک سنسور رنگ سنج مناسب برای هر دو آنیون سیانید و استات عمل می کند.

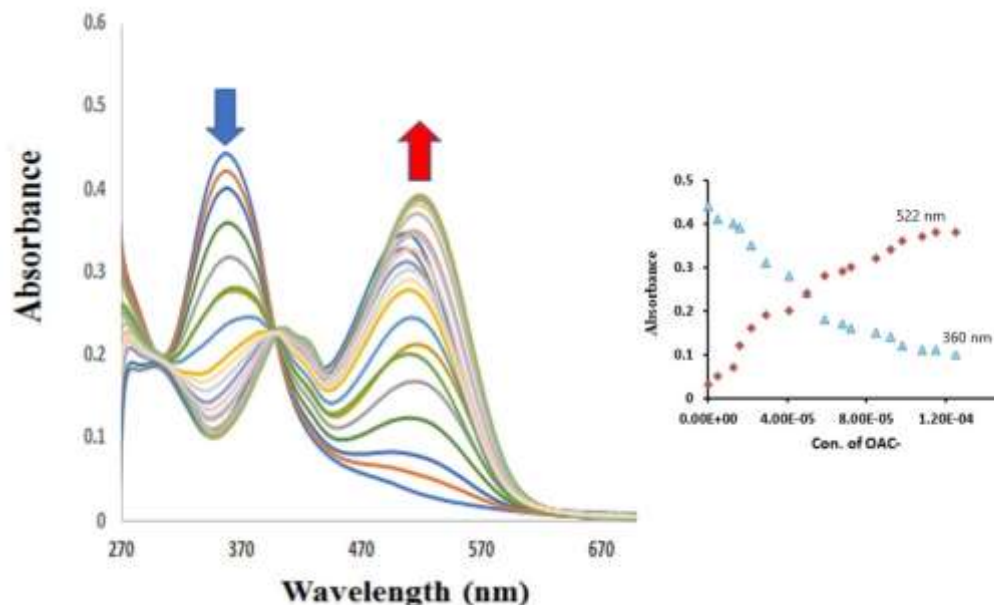


شکل ۱: طیف جذبی UV-Vis لیگاند ( $2/6 \times 10^{-5}$  مولار) در حضور آنیون های مختلف (۰/۰۱ مولار) در حلال DMF/H<sub>2</sub>O

### ۳-۲- بررسی تغییرات طیف جذبی UV-Vis لیگاند (L) با افزایش تدریجی آنیون ها

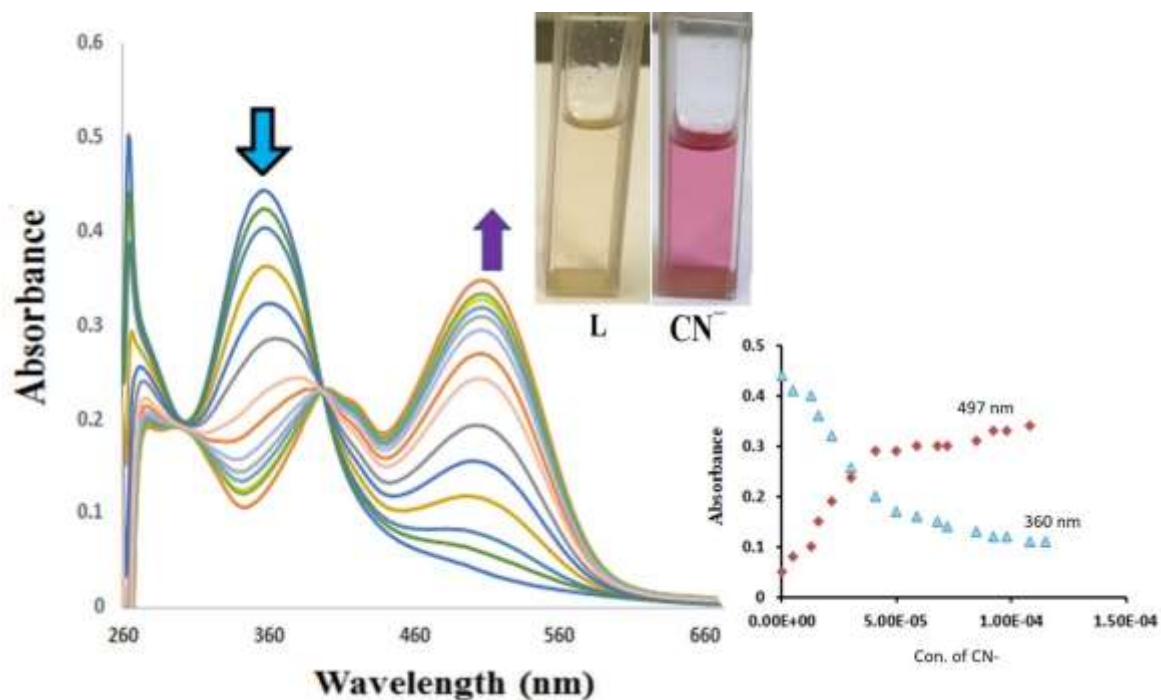
با افزایش تدریجی آنیون استات به سنسور شیمیایی (L) یک پیک جدید در ۵۲۲ nm ظاهر شده و شدت نوار جذبی در ۳۶۰ nm کاهش می یابد (شکل ۲). علاوه بر این نقاط ایزوبستیک بترتیب در ۳۰۰ و ۳۹۷ nm مشاهده می شود. نقاط ایزوبستیک نشان دهنده حضور دو گونه میزبان و مهمان (آنیون) در محلول می باشد.

با توجه به منحنی کالیبراسیون، حد تشخیص حسگر آزو-آزومتین  $2/6 \times 10^{-5}$  مولار برای تعیین آنیون استات اندازه گیری شد. ثابت پیوند حسگر با آنیون استات برابر  $4/2 \times 10^3 M^{-1}$  حاصل شد (داده های تکمیلی).

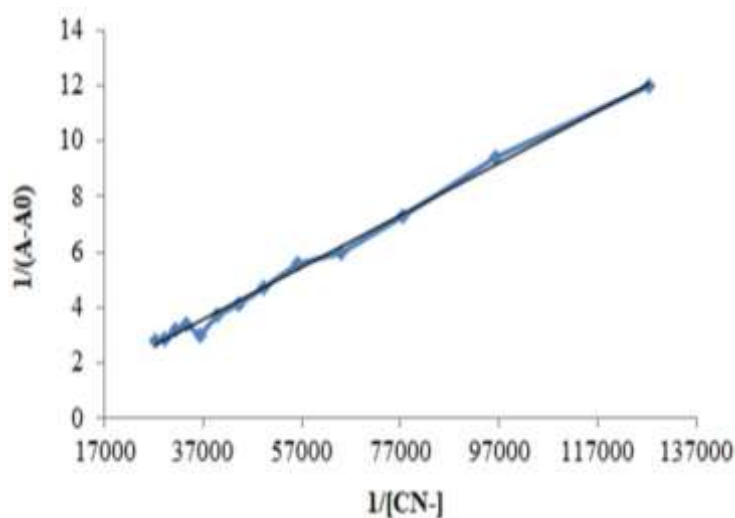


شکل ۲: تغییر در طیف جذبی UV-Vis لیگاند با افزایش تدریجی آنیون استات ( $0.01$  مولار) در حلال  $DMF/H_2O$  و منحنی جذب بر حسب غلظت در طول موج  $360$  و  $522$  نانومتر

شکل ۳ نشان می دهد که با افزایش تدریجی آنیون سیانید به حسگر (L) کاهش در شدت پیک  $360$  nm همراه با ظاهر شدن یک پیک جدید  $497$  nm دیده می شود. همچنین نقطه ایزوبستیک  $397$  nm دیده می شود. با استفاده از تغییرات طیف جذبی در حلال دی متیل فرم آمید و آب، ثابت پیوند برای تشکیل کمپلکس بین حسگر (L) و آنیون سیانید برابر  $3.07 \times 10^4 M^{-1}$  بدست آمد. با توجه به منحنی کالیبراسیون، حد تشخیص حسگر برای تعیین آنیون سیانید  $1/4 \times 10^{-6}$  مولار اندازه گیری شد (داده های تکمیلی).



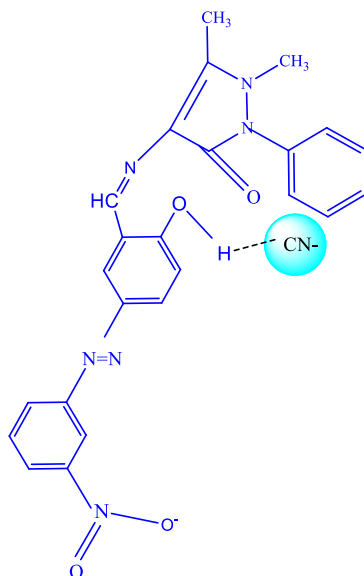
شکل ۳: تغییر در طیف جذبی UV-Vis لیگاند با افزایش تدریجی آنیون سیانید (۰/۰۱ مولار) در حلال DMF/H<sub>2</sub>O و منحنی جذب بر حسب غلظت در طول موج ۳۶۰ و ۴۹۷ نانومتر



شکل ۴: نمودار Benesi-Hildebrand برای کمپلکس L + CN<sup>-</sup> (جذب در ۵۲۲ نانومتر) در دمای اتاق.

با افزایش آنیون (سیانید یا استات) به حسگر (L)، بار منفی آنیون سبب دپروتونه کردن OH فنولی شده و قطبیت بالای حلال باعث پایداری حالت برانگیخته شده و در نتیجه جابجایی به سمت طول موج های بیشتر مشاهده می شود [۱۸]. این نتایج نشان دهنده تشکیل کمپلکس بین حسگر (L) با آنیون های CN<sup>-</sup> و OAc<sup>-</sup> از طریق پیوند هیدروژنی می باشد (طرح ۲ و شکل ۸S).

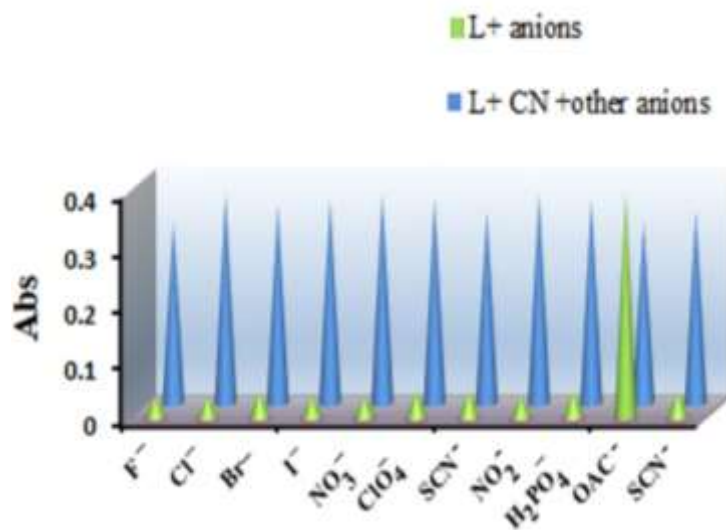




طرح ۲: ساختار پیشنهادی پیوند حسگر با آنیون سیانید

### ۳-۳- بررسی اثر رقابتی آنیون سیانید با سایر آنیون ها

رفتار تداخلی کمپلکس  $L + CN^-$  نسبت به آنیون های موجود با استفاده از تیتراسیون UV-Vis در حلال دی متیل فرم آمید و آب مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، آنیون های موجود هیچ تداخل آشکاری با تشخیص یون  $CN^-$  نداشتند.

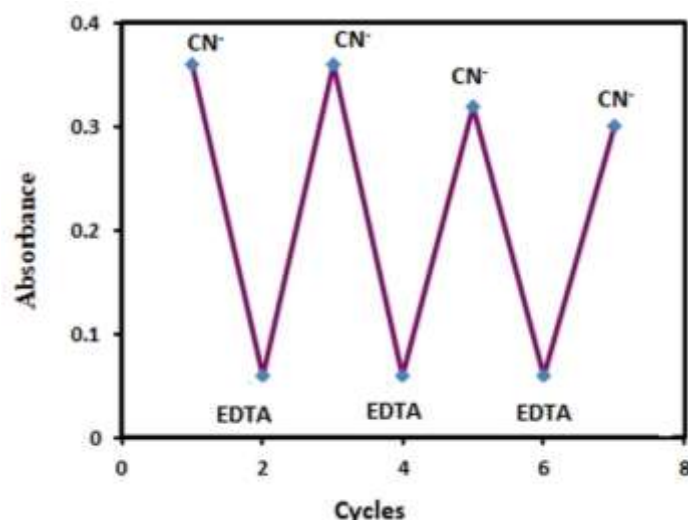


شکل ۵: بررسی اثر تداخلی حسگر ( $2/6 \times 10^{-5}$  مولار) با  $CN^-$  و سایر آنیون ها ( $0/1$  مولار)

### ۳-۴- بررسی برگشت پذیری حسگر

قابلیت استفاده مجدد از ویژگی های بسیار مهم حسگر است. برگشت پذیری حسگر (L) نسبت به یون  $CN^-$  توسط تیتراسیون UV-Vis مورد بررسی قرار گرفت. برگشت پذیری حسگر (L) با افزایش متوالی  $CN^-$  و EDTA (محلول نمک سدیم اتیلن دی

آمین تتراستیک اسید) بررسی شد و مشخص شد که حسگر (L) تا هفت سیکل برگشت پذیری خوبی دارد (شکل ۶). برگشت پذیری نیز با افزایش متوالی  $OAC^-$  و EDTA بررسی شد. در این مورد، حسگر (L) دارای پنج چرخه برگشت پذیر است (داده های تکمیلی).



شکل ۶: برگشت پذیری حسگر (L) با افزایش متوالی  $EDTA$  و  $CN^-$

#### ۴- نتیجه گیری

در این کار تحقیقاتی، حسگر آزو-آزومتین جدیدی سنتز و توسط روش های طیف سنجی IR، UV-Vis،  $^1H-NMR$  بررسی و تایید شد. رفتار حسگر ایمینی در برابر آنیون های  $CN^-$ ,  $F^-$ ,  $ClO_4^-$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $I^-$ ,  $OAC^-$ ,  $SCN^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$  توسط طیف UV-Vis و با چشم غیر مسلح بررسی شد. حسگر شیمیایی رنگ سنج بصورت گزینش پذیر قادر به تشخیص آنیون سیانید و استات در محلول دی متیل فرم آمید و آب می باشد. افزایش آنیون های سیانید و استات به محلول حسگر شیمیایی (L) تغییر رنگ از زرد به بنفش مشاهده شد که با چشم غیرمسلح بدون نیاز به هر نوع دستگاه طیف سنج قابل تشخیص است و هیچ تغییر رنگ محسوسی در حضور آنیون های دیگر مشاهده نشد.

#### ۵- تقدیر و تشکر

نویسنده از دانشگاه پیام نور بخاطر حمایت های مادی کمال تقدیر و تشکر را دارد.

#### ۶- مراجع

- [1] Wu, D., Sedgwick, A.C., Gunnlaugsson, T., Akkaya, E.U., Yoon, J., James, T.D. (2017). Fluorescent chemosensors: the past, present and future. *Chem. Soc. Rev.*, 46, 7105-7123.
- [2] Gale, P.A., Howe E.N.W., Wu, X. (2016). Anion Receptor Chemistry. *Chem.*, 1, 351-422.
- [3] Manna, A. K., Mondal, J., Chandra, R., Rout, K., Patra, G. K. (2018). A fluorescent colorimetric azo dye based chemosensor for detection of  $S^{2-}$  in perfect aqueous solution and its application in real sample analysis and building a molecular logic gate. *Anal. Methods*, 10, 2317-2326.

- [4] Kim, H.N., Ren, W.X., Kim, J.S., Yoon, J. (2012). Fluorescent and colorimetric sensors for detection of lead, cadmium, and mercury ions. *Chem. Soc. Rev.*, 41, 3210-3244.
- [5] Saleem, M., Rafiq, M., Hanif, M. (2017). Organic Material Based Fluorescent Sensor for Hg<sup>2+</sup>: a Brief Review on Recent Development. *J. Fluoresc.*, 27, 31-58.
- [6] Stetter, J. R., Penrose, W. R., Yao. S. (2003). Sensors, Chemical Sensors, Electrochemical Sensors, And ECS, *J. Electrochem. Soc.*, 150, 11-16.
- [7] Sivaraman, G., Iniya, M., Anand, T., Kotla, N.G., Sunnapu, O., Singaravadivel, S., Gulyani, A., Chellappa, D. (2018). Chemically diverse small molecule fluorescent chemosensors for copper ion. *Coord. Chem. Rev.*, 357, 50-104.
- [8] Cao, D., Liu, Z., Verwilst, P., Koo, S., Jangjili, P., Kim, J.S., Lin, W. (2019). Coumarin-Based Small-Molecule Fluorescent Chemosensors. *Chem. Rev.*, 119, 10403-10519.
- [9] Kim, H.N., Lee, M.H., Kim, H.J., Kim, J.S., Yoon, J. (2008). A new trend in rhodamine-based chemosensors: application of spirolactam ring-opening to sensing ions. *Chem. Soc. Rev.*, 37, 1465-1472.
- [10] Divsar, F. (2020). Design of an optical sensor based on gold nanoparticles for detecting trace amounts of heavy metals in water samples. *J. Of Applied Chemistry*, 15(54), 217-226. (in persian)
- [11] Rezaei, V., Ghayed-Rahmati, S. (2021). Design a optical sensor based on incorporation of ninhydrin in sol-gel matrix for determination of cyanide. *J. Of Applied Chemistry*, 16(61), 101-112. (in persian)
- [12] Azadbakht R., Khanabadi, J. (2013). A new fluorescent nano-chemosensor using a N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> type macrocyclic ligand. *J. Of Applied Chemistry*, 8(27), 35. (in persian)
- [13] Kaur, B., Kaur, N., Kumar, S. (2018). Colorimetric metal ion sensors – A comprehensive review of the years 2011–2016. *Coord. Chem. Rev.*, 358, 13-69.
- [14] Jiang, C., He, Y., Liu, Y. (2020). Recent advances in sensors for electrochemical analysis of nitrate in food and environmental matrices. *Analyst*, 145, 5400-5413.
- [16] Sharma, D., Kumar, S.A., Sahoo, S.K. (2014). Vitamin B6 cofactor derived chemosensor for the selective colorimetric detection of acetate anions. *Tetrahedron Lett.*, 55, 927-930.
- [17] Devaraj, S., Saravanakumar, D., Kandaswamy, M. (2009). Dual responsive chemosensors for anion and cation: Synthesis and studies of selective chemosensor for F<sup>-</sup> and Cu(II) ions. *Sens. Actuators B: Chem.* 136(1), 13-19.
- [18] Hammud, H.H., Ghannoum, A., Masoud, M.S. (2006). Spectral regression and correlation coefficients of some benzaldimines and salicylaldimines in different solvents. *Spectrochim. Acta Part A*, 63(2), 255-265.

