



Semnan University

Applied Chemistry Today

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

ISSN: 2981-2437



Research Article

Colorimetric Detection of Spermine Based on Aggregation-Induced Silver Nanoparticles with Application in Food Samples

Samira Abbasi-Moayed ^{*}, Sara Sarabadani

Department of Analytical Chemistry, Faculty of Chemistry, Kharazmi University, Tehran, Iran

PAPER INFO

Article history:

Received: 04/Mar/2026

Revised: 15/Aug/2026

Accepted: 22/Aug/2026

Keywords:

Colorimetric Sensor,
Silver Nanoparticles,
Biogenic Amines,
Spermine.

ABSTRACT

In this study, a simple, sensitive, and selective colorimetric sensor based on aggregation-induced silver nanoparticles was designed and developed for the determination of spermine. The sensing mechanism relies on electrostatic interactions between the protonated amine groups of spermine and the carboxylate groups of citrate on the surface of silver nanoparticles, leading to nanoparticle aggregation. As a result of this phenomenon, the plasmon peak intensity decreased, a new red-shifted peak appeared at longer wavelengths, and the solution color changed visibly from yellow to purple. The aggregation response of the sensor (A_{550}/A_{400}) exhibited a linear relationship with spermine concentration in the range of 0.2–1.0 μM , with a limit of detection (LOD) of 0.09 μM calculated based on 3Sb/m. Selectivity studies in the presence of other biogenic amines, including spermidine, tryptophan, and histamine, showed negligible interference even at higher concentrations. Moreover, the applicability of the method was validated by determining spermine in extracted chicken meat samples, yielding recoveries of 95–112% with relative standard deviations below 3%. These results indicate that the developed sensor provides a rapid, cost-effective, and efficient approach for monitoring spermine in food samples.

DOI: <https://doi.org/10.22075/chem.2026.40763.2434>

© 2026 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 Analytical Chemistry. E-mail address: s.abbasimoayed@khu.ac.ir

How to cite this article: Abbasi-Moayed, S. & Sarabadani, S. (2026). Colorimetric Detection of Spermine Based on Aggregation-Induced Silver Nanoparticles with Application in Food Samples. *Applied Chemistry Today*, 21(79), 105-118. (in Persian)

تشخیص رنگ‌سنجی اسپرمین بر پایه تجمع القاشده نانوذرات نقره با کاربرد در نمونه‌های غذایی

سمیرا عباسی مؤید*، سارا سرآبادانی

گروه شیمی تجزیه، دانشکده شیمی، دانشگاه خوارزمی، صندوق پستی ۱۵۷۱۹-۱۴۹۱۱، تهران، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۱۲/۱۳ بازنگری مقاله: ۱۴۰۵/۰۵/۲۴ پذیرش مقاله: ۱۴۰۵/۰۵/۳۱	در این پژوهش، یک حسگر رنگ‌سنجی ساده، حساس و گزینش‌پذیر بر پایه تجمع القاشده نانوذرات نقره برای اندازه‌گیری اسپرمین طراحی و توسعه داده شد. مکانیسم عملکرد حسگر بر مبنای برهم‌کنش‌های الکترواستاتیک بین گروه‌های آمینی پروتونه‌شده اسپرمین و گروه‌های کربوکسیلیک سیترات بر سطح نانوذرات نقره است که منجر به تجمع نانوذرات می‌شود. در اثر این پدیده کاهش شدت پیک پلاسمون و ظهور پیک جدید در طول موج‌های بلندتر و در نهایت تغییر رنگ محلول از زرد به بنفش می‌شود. پاسخ جمعی حسگر (نسبت جذب در طول موج ۵۵۰ به جذب در طول موج ۴۰۰) در بازه غلظتی ۰/۲ تا ۱/۰ میکرومولار رابطه خطی با غلظت اسپرمین نشان داد و حد تشخیص بر اساس رابطه $3Sb/m$ برابر با ۰/۹ میکرومولار به دست آمد. بررسی گزینش‌پذیری در حضور سایر آمین‌های زیستی شامل اسپرمیدین، تربیتوفان و هیستامین نشان داد که این گونه‌ها حتی در غلظت‌های بالاتر، تأثیر قابل توجهی بر پاسخ حسگر ندارند. همچنین کارایی روش در اندازه‌گیری اسپرمین در نمونه استخراج‌شده از گوشت مرغ با درصد بازیابی ۹۵ تا ۱۱۲ درصد و انحراف استاندارد نسبی کمتر از ۳ درصد تأیید شد. نتایج نشان می‌دهد حسگر ارائه‌شده می‌تواند به عنوان روشی سریع، کم‌هزینه و کارآمد برای پایش اسپرمین در نمونه‌های غذایی مورد استفاده قرار گیرد.

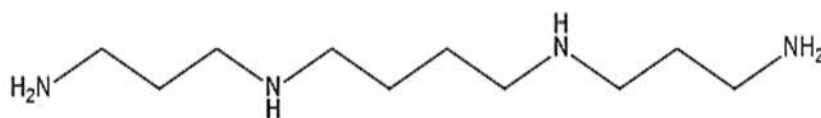
DOI: <https://doi.org/10.22075/chem.2026.40763.2434>

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

۱- مقدمه

اسپرمین یکی از مهم‌ترین پلی‌آمین‌های زیستی است که به‌طور طبیعی در سلول‌های زنده، مایعات زیستی و بافت‌های مختلف یافت می‌شود. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، این ترکیب آلی، به دلیل دارا بودن چهار گروه آمینی، دارای بار مثبت بالا در شرایط فیزیولوژیک بوده و می‌تواند با ماکرومولکول‌هایی نظیر DNA، RNA و پروتئین‌ها برهم‌کنش داشته باشد [۱].

۲. بنابراین اسپرمین در فرایندهایی همچون رشد و تکثیر سلولی، تمایز، تنظیم بیان ژن و پایداری غشای سلولی نقش اساسی دارد [۳، ۴]. مطالعات نشان داده‌اند که افزایش غیرطبیعی سطح اسپرمین می‌تواند با بروز و پیشرفت برخی بدخیمی‌ها از جمله سرطان‌های پروستات، پستان ارتباط داشته باشد [۵، ۶]. از این رو، پایش غلظت این پلی‌آمین به عنوان یک نشانگر زیستی برای تشخیص زودهنگام و ارزیابی روند درمان بیماری‌ها مطرح شده است [۷-۱۱].



شکل ۱. ساختار اسپرمین

از سوی دیگر، اسپرمین در حوزه صنایع غذایی نیز مورد توجه قرار گرفته است. این ترکیب در اثر فعالیت میکروبی و تجزیه ترکیبات پروتئینی در مواد غذایی، به‌ویژه فرآورده‌های گوشتی، تولید و تجمع می‌یابد. افزایش سطح پلی‌آمین‌ها از جمله اسپرمین می‌تواند به‌عنوان شاخصی از فساد زیستی، کهنگی و کاهش کیفیت مواد غذایی تلقی شود [۱۲]. بنابراین، توسعه روش‌هایی برای پایش سریع و قابل‌اعتماد اسپرمین در نمونه‌های غذایی، نقش مهمی در تضمین ایمنی و کنترل کیفیت مواد غذایی ایفا می‌کند [۱۳].

با توجه به اهمیت زیستی و غذایی این ترکیب، ارائه روش‌های تحلیلی کارآمد برای سنجش آن ضروری است. روش‌های متداولی نظیر کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا، کروماتوگرافی گازی و طیف‌سنجی جرمی برای اندازه‌گیری اسپرمین گزارش شده‌اند، اما این روش‌ها اغلب نیازمند تجهیزات پیچیده، هزینه بالا و آماده‌سازی زمان‌بر نمونه هستند [۱۴-۱۷]. حسگرهای رنگ‌سنجی مبتنی بر نانوذرات فلزی به‌دلیل سادگی، سرعت پاسخ و امکان تشخیص با چشم غیرمسلح، به‌عنوان جایگزینی مناسب مطرح شده‌اند [۱۸-۲۲].

در مطالعات پیشین، برهم‌کنش پلی‌آمین‌هایی نظیر اسپرمیدین و پوتریسین با نانوذرات فلزی، به‌ویژه نانوذرات طلا و نقره، مورد بررسی قرار گرفته است. این ترکیبات به‌دلیل ماهیت چندکاتیونی خود، قادر به القای تجمع نانوذرات از طریق برهم‌کنش‌های الکترواستاتیکی و پل‌زنی بین‌ذره‌ای هستند. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بسیاری از این مطالعات بر نانوذرات طلا متمرکز بوده یا به بررسی کلی رفتار تجمعی پرداخته‌اند و کاربرد آن‌ها در توسعه سامانه‌های حساس و انتخاب‌پذیر برای اندازه‌گیری اسپرمین محدود بوده است [۱۷، ۱۸، ۲۳-۳۰]. نانوذرات نقره به‌واسطه ویژگی‌های نوری منحصربه‌فرد ناشی از پدیده تشدید پلاسمون سطحی موضعی، بستر مناسبی برای توسعه حسگرهای رنگ‌سنجی فراهم می‌کنند. به طوری که، استفاده از نانوذرات نقره به‌دلیل پاسخ پلاسمونی قوی‌تر و حساسیت بالاتر، می‌تواند مزایای قابل‌توجهی در طراحی حسگرهای رنگ‌سنجی فراهم آورد [۱۵، ۲۶، ۳۱-۳۳]. اسپرمین به‌دلیل ساختار خطی و وجود چندین گروه آمینی قابل پروتونه شدن، به‌ویژه در محیط‌های اسیدی، دارای بار مثبت بیشتری شده و قادر است از طریق برهم‌کنش‌های الکترواستاتیک و پل‌زنی چنددندانه‌ای، موجب تجمع نانوذرات نقره شود. این تجمع با تغییر رنگ مشخص و جابه‌جایی باند پلاسمونی همراه بوده و می‌تواند مبنایی برای سنجش کمی این آنالیت فراهم آورد [۱۹، ۲۶، ۲۷، ۳۴].

جدول ۱: مقایسه روش‌های پیشنهادی با تعدادی از روش‌های رنگ‌سنجی گزارش شده برای تشخیص آمین‌های بیوژنیک

آنالیت	عنصر حسگر	مکانیسم	محدوده خطی	حد تشخیص	نمونه حقیقی	منبع
اسپریمین	نانوذرات طلا	تجمع	۰/۱ - ۲/۰	۰/۰۱	گوشت گاو	[۱۹]
اسپریمین	نانوذرات طلا	تجمع	۰/۱ - ۴/۰	۰/۰۴	-	[۳۰]
اسپریمین	اصلاح شده با هیدروکسی پیلار [۵] آر	تجمع	۰/۰۳ - ۰/۰۷	۰/۰۵	ادرار	[۲۷]
اسپریمین	نانوذرات طلا	تجمع	۲/۵ - ۲۰/۰	۰/۲۳	ادرار	[۲۶]
هیستامین	نانوذرات طلا	تجمع	۰/۱ - ۲/۱	۰/۰۴	ماهی سالمون	[۱۸]
هیستامین	نانوذرات طلا	تجمع	۲/۰ - ۱۶/۰	۰/۶	گوشت مرغ	[۲۸]
پوترسین	اصلاح شده با سدیم دودسیل سولفات	تجمع	۴/۰ - ۱۲/۰	۰/۳	پلازما خون	[۲۹]
کاداورین	نانوذرات نقره	تجمع	۶/۰ - ۱۴/۰	۱/۶	ادرار	
اسپریمین	نانوذرات نقره	تجمع	۰/۲ - ۱/۰	۰/۰۹	گوشت مرغ	پژوهش حاضر

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد شیمیایی

تمامی واکنشگرها و مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش شامل نقره نیترات، تری سدیم سیترات، سدیم بورهیدرید، سدیم هیدروکسید، اسید کلریدریک، اسپریمین، اسپرمیدین، هیستامین و تریپتوفان از شرکت سیگما-آلدریج تهیه شده اند و همگی از خلوص تجزیه‌ای برخوردار هستند.

۲-۲- دستگاه‌ها

برای اندازه‌گیری دقیق وزن مواد شیمیایی، از ترازوی Sartorius مدل A200S با دقت ۴ رقم اعشار استفاده شده است. طیف‌های جذبی با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر Perkin Elmer مدل Lambda 25 در سل ۱ سانتی متری در بازه طول موجی ۳۵۰ تا ۸۰۰ نانومتر ثبت شد. آب دیونیزه مورد استفاده در این آزمایش توسط دستگاه تولید آب یون زدایی شده فوق خالص مدل ZUS101 شرکت زلالان تهیه شده است. تصویر TEM نانوذرات توسط دستگاه Ziess EM900 ثبت شد. عکس‌های رنگی از محلول‌های مورد نظر توسط گوشی سامسونگ مدل A52 گرفته شده است.

۲-۳- سنتز نانوذرات نقره

نانوذره کروی نقره پوشیده شده با سیترات به این صورت تهیه شده است که در ابتدا محلولی شامل ۲۵۰ میکرولیتر از نقره نیترات با غلظت ۱۰۰ میلی مولار، ۲۵۰ میکرولیتر از تری سدیم سیترات با غلظت ۱۰۰ میلی مولار و ۱۰۰ میلی لیتر از آب یون

زدایی شده تهیه شد. سپس ۱ میلی لیتر از محلول سدیم بورهیدرید با غلظت ۵ میلی مولار به صورت قطره قطره تحت هم زدن شدید به محلول بالا اضافه شد. رنگ محلول نانوذرات نقره به رنگ زرد تیره شد محلول به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شد. نانوذرات سنتز شده قبل از استفاده باید به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتیگراد در محیط تاریک قرار داده شود تا پایداری مورد نظر حاصل شود [۳۵]. نانوذرات سنتز شده متوسط اندازه ۱۵ نانومتر و یک پیک پلاسمون در حدود ۴۰۰ نانومتر از خود نشان می‌دهد.

۲-۴- طراحی حسگر رنگ‌سنجی اندازه گیری اسپرمین

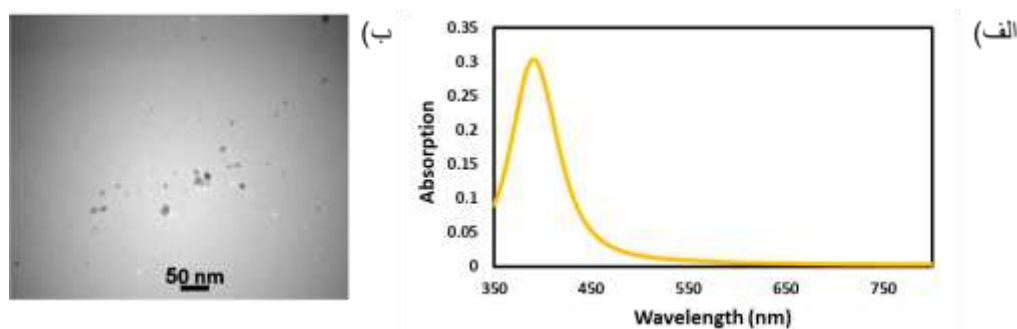
به منظور طراحی حسگر رنگ‌سنجی بر مبنای تجمع نانوذرات نقره به منظور اندازه گیری اسپرمین، ابتدا ۷۰۰ میکرولیتر از نانوذرات تهیه شده را در بالن حجمی ۵ میلی لیتری ریخته و با آب مقطر تا نیمه بالن رقیق کرده سپس حجم های متفاوت (۱۰۰ تا ۵۰۰ میکرولیتر) از محلول اسپرمین ۱۰ میکرومولار به محلول اضافه کرده و با آب مقطر به حجم رسانده شد و به خوبی با هم مخلوط شد. طیف جذبی هر محلول پس از ۱۰ دقیقه ثبت شد.

۲-۵- آنالیز نمونه حقیقی

به منظور بررسی توانایی حسگر رنگ سنجی طراحی شده در سنجش اسپرمین در نمونه حقیقی، گوشت مرغ به عنوان نمونه حقیقی انتخاب شد. برای این منظور، دو قطعه ۱ گرمی از گوشت مرغ تازه تهیه شده شسته شد و به یک لوله سانتریفیوژ ۵ میلی لیتری منتقل شد. سپس ۵۰۰ میکرولیتر از اسپرمین با غلظت ۱۰۰ میکرومولار به یکی از لوله‌ها اضافه شد و لوله دیگر به عنوان محلول شاهد در نظر گرفته شد. به هریک از لوله‌ها ۵ میلی لیتر اتانول اضافه شد. سپس به منظور استخراج اجزای بافت مرغ به محلول اتانول نمونه‌ها به مدت ۳ دقیقه با دور ۱۰۰۰۰ سانتریفیوژ شد [۳۶]. سپس به منظور بررسی پاسخ حسگر به نمونه حقیقی ۲۵۰ و ۵۰۰ میکرولیتر از هریک از لوله به حسگر طراحی شده اضافه و مطابق بخش ۲-۴ پس از ۱۰ دقیقه طیف جذبی هریک ثبت شد.

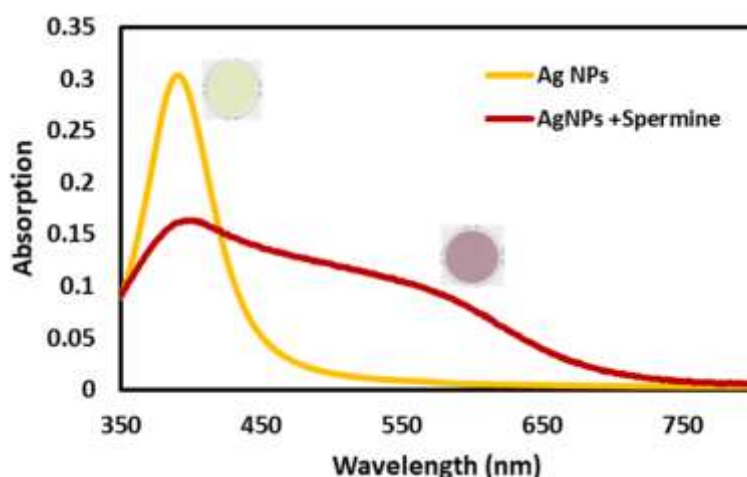
۳- بحث و نتیجه گیری

هدف اصلی این پژوهش، طراحی حسگر رنگ‌سنجی گزینش پذیر برای اندازه گیری اسپرمین با استفاده از مکانیسم تجمع نانوذرات نقره است. شکل ۲ طیف جذبی به همراه تصویر TEM نانوذرات نقره سنتز شده را نشان می‌دهد. پیک جذبی قوی در ۳۹۰ نانومتر و آنالیز TEM نانوذره با قطر حدود ۱۵ نانومتر را تایید می‌کند.



شکل ۲. الف) طیف UV-vis ب) تصویر TEM نانوذرات نقره

اسپریمین دارای ساختار پلی آمین است. بنابراین از طریق گروه‌های آمینی خود می‌تواند از طریق برهم‌کنش مستقیم بین نیتروژن و نقره و یا از طریق برهم‌کنش بین گروه‌های آمین اسپریمین و گروه‌های کربوکسیلیک اسید یون سیترات منجر به نزدیک شدن نانوذرات به یکدیگر و در نتیجه تجمع نانوذرات نقره شود. بنابراین همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود در اثر تجمع نانوذرات نقره در حضور اسپریمین شدت پیک پلاسمون نانوذرات در حدود ۴۰۰ نانومتر کاهش می‌یابد و یک پیک جدید در طول موج بلندتر ظاهر می‌شود که در نتیجه این تغییر، رنگ نانوذرات نقره از زرد به بنفش تغییر می‌کند.

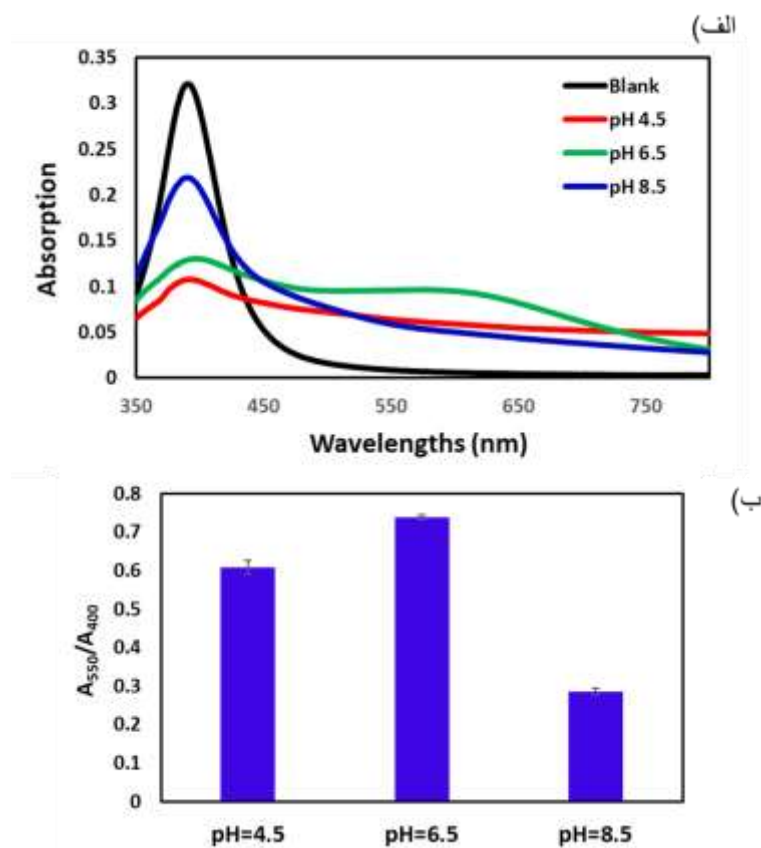


شکل ۳. طیف UV-vis و عکس محلول نانوذرات طلا در غیاب و حضور اسپریمین با غلظت ۱ میکرومولار در pH برابر ۶/۵

۳-۱- بهینه‌سازی شرایط آزمایش

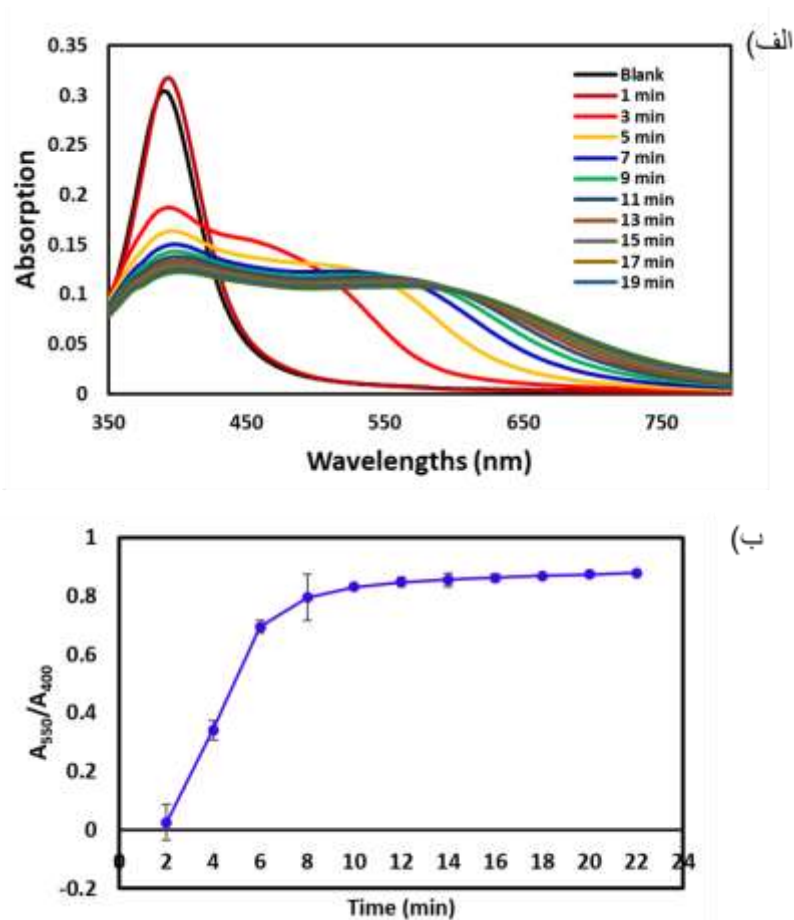
به منظور افزایش حساسیت و عملکرد حسگر رنگ‌سنجی طراحی شده و تجمع نانوذرات نقره توسط اسپریمین، پارامترهای مؤثر بر حسگر نظیر pH و زمان مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به برهم‌کنش الکترواستاتیک بین گروه‌های آمین اسپریمین و کربوکسیلیک اسید سیترات، انتظار می‌رود pH نقش مؤثر در تجمع نانوذرات نقره داشته باشد. بنابراین پاسخ نانوذرات نقره نسبت به اسپریمین در سه pH اسیدی (۴/۵)، خنثی (۶/۵) و قلیایی (۸/۵) ثبت شد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود در محیط قلیایی به دلیل پرتون‌زدایی شدن یون آمونیوم امکان برقراری برهم‌کنش الکترواستاتیک و در نتیجه تجمع نانوذرات کاهش می‌یابد، در حالی که در هر چه pH به سمت اسیدی رفته میزان تجمع افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۴-ب، میزان

پاسخ حسگر (نسبت جذب در طول موج ۵۵۰ به جذب در طول موج ۴۰۰) در pH برابر ۸/۵ کمترین مقدار را دارد بنابراین pH برابر ۶/۵ به عنوان pH بهینه انتخاب شد که پاسخ بیشتری دارد و همچنین pH نانوذرات سنتز شده است و برای ادامه کار نیاز به تنظیم pH نیست. همچنین با توجه به انحراف استاندارد گزارش شده در شکل ۴، حسگر از تکرارپذیری مناسبی در pH برابر ۵/۶ از خود نشان می‌دهد.



شکل ۴. الف) طیف UV-vis (ب) نمودار میله‌ای پاسخ تجمعی (A_{550}/A_{400}) نانوذرات نقره پس از افزایش اسپرمین با غلظت ۱ میکرومولار در سه pH برابر ۴/۵، ۶/۵ و ۸/۵

سپس اثر زمان بر تجمع نانوذرات نقره در حضور اسپرمین بررسی شد، به طوری که طیف جذبی نانوذرات نقره پس از افزایش اسپرمین در pH برابر ۶/۵ با گذشت زمان ثبت شد. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، پاسخ تجمعی نانوذرات نقره در حضور اسپرمین پس از ۱۰ دقیقه به ماکزیمم مقدار خود رسید. بنابراین تمامی پاسخ‌های حسگر در زمان ۱۰ دقیقه انجام شد.



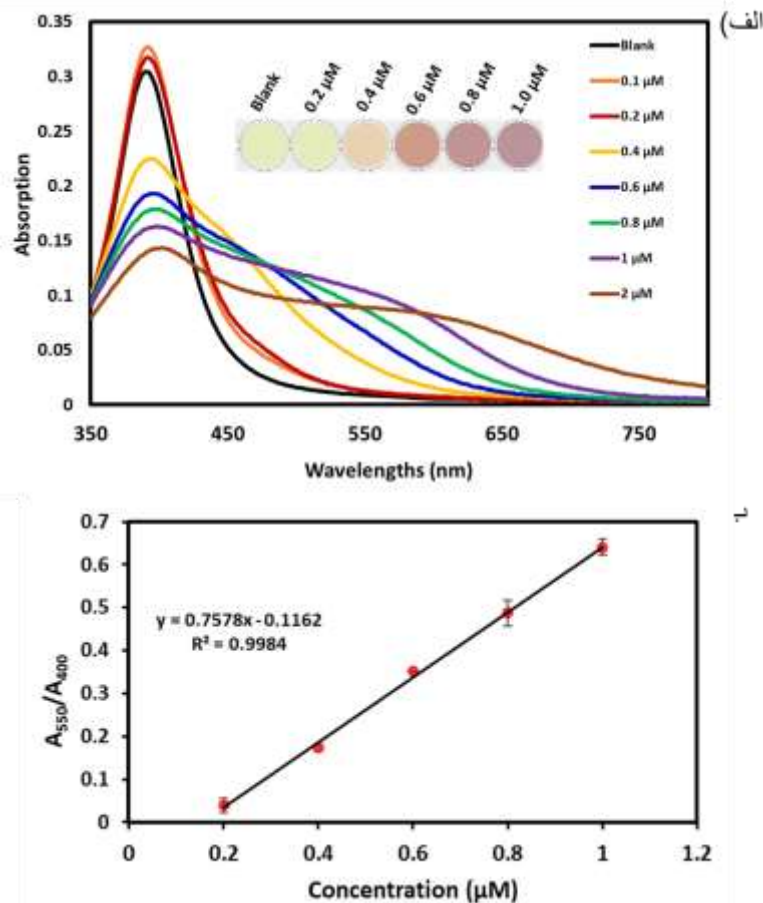
شکل ۵. الف) طیف UV-vis (ب) نمودار میله‌ای پاسخ تجمعی (A_{550}/A_{400}) نانوذرات نقره پس از افزایش اسپرمین (۱ میکرومولار) با گذشت زمان ۲۰ دقیقه به فواصل ۲ دقیقه

۳-۲- اندازه‌گیری اسپرمین با استفاده از حسگر رنگ‌سنجی بر مبنای تجمع نانوذرات نقره

اسپرمین به عنوان یک پلی‌آمین دارای گروه‌های آمین نوع اول است که می‌تواند با گروه‌های کربوکسیلیک اسید سیترات برهم‌کنش الکترواستاتیک داشته باشد و منجر به تجمع نانوذرات نقره شود. این فرآیند باعث تغییراتی در پیک پلاسمون نانوذرات نقره شده و در نتیجه تغییر رنگ محسوسی قابل مشاهده است. بنابراین همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، با افزایش غلظت اسپرمین پیک پلاسمون نانوذرات کاهش یافته و پیک جدیدی در طول موج‌های بلندتر ظاهر می‌شود. همچنین رنگ نانوذرات نقره در اثر افزایش غلظت اسپرمین، از زرد به نارنجی و در نهایت به بنفش تغییر می‌کند.

به منظور اندازه‌گیری کمی اسپرمین، نسبت جذب نانوذره در طول موج ۵۵۰ نانومتر به جذب در طول موج ۴۰۰ نانومتر در غلظت‌های مختلف از اسپرمین محاسبه شد. با توجه به شکل ۶، پاسخ تجمعی حسگر (A_{550}/A_{400}) نسبت به غلظت اسپرمین در بازه غلظتی ۰/۲ تا ۱/۰ میکرومولار به طور خطی افزایش می‌یابد.

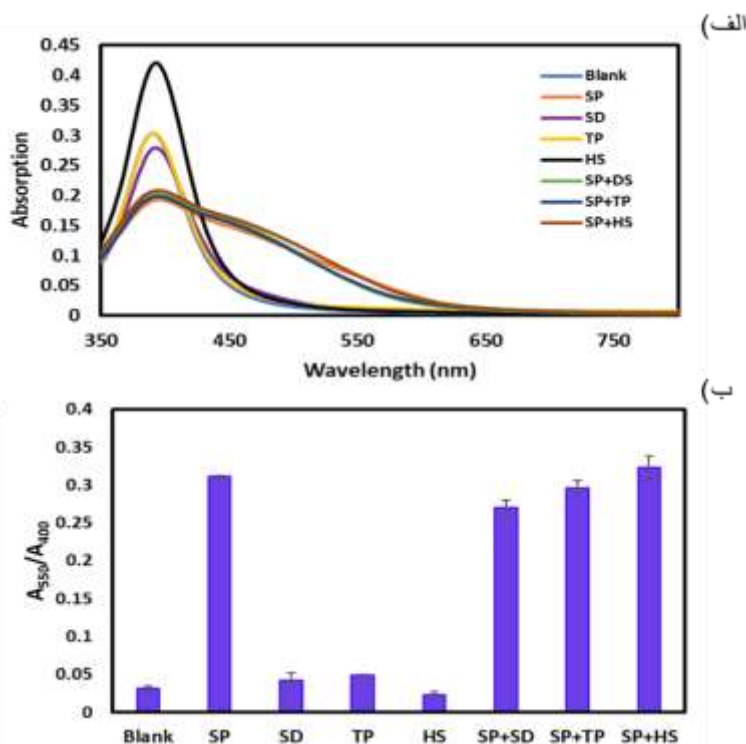
برای ارزیابی دقیق عملکرد حسگر و حساسیت آن، حد تشخیص اندازه‌گیری اسپرمین با استفاده از معادله $3S_b/m$ محاسبه شده است. در این معادله S_b انحراف معیار سیگنال شاهد و m شیب معادله خطی است. حد تشخیص بدست آمده برابر است با 0.09 میکرومولار که این مقدار نشان دهنده دقت و حساسیت بالای حسگر است.



شکل ۶ الف) طیف UV-vis و تغییرات رنگی محلول‌های نانوذرات نقره در pH برابر ۶/۵ در حضور اسپرمین با غلظت‌های مختلف ب) نمودار کالیبراسیون پاسخ تجمعی نانوذرات نسبت به غلظت‌های مختلف اسپرمین پس از گذشت ۱۰ دقیقه

۳-۳- گزینش پذیری حسگر به سایر بایوژنیک آمین‌ها

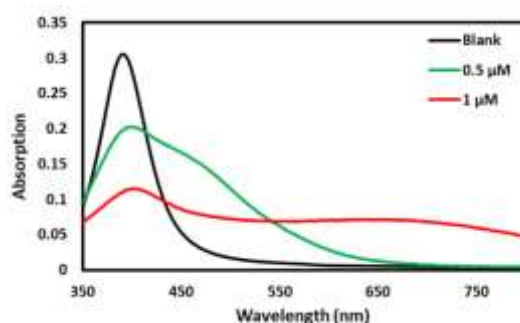
به منظور بررسی گزینش‌پذیری حسگر نسبت به اسپرمین، پاسخ حسگر در حضور چندین بایوژنیک آمین دیگر نظیر اسپرمیدین، تریپتوفان و هیستامین بررسی شد. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، این حسگر در حضور این بایوژنیک آمین‌ها با غلظت دو برابر اسپرمین پاسخ قابل ملاحظه‌ای از خود نشان نداده است. همچنین مشاهده می‌شود، مخلوط اسپرمین با هریک از این گونه تأثیری چندانی در پاسخ تجمعی حسگر نداشته و پاسخ آن در حدود پاسخ اسپرمین تنها است که همین امر گزینش‌پذیری حسگر را تایید می‌کند.



شکل ۷. الف) طیف UV-vis (ب) نمودار میله‌ای پاسخ تجمعی (A_{550}/A_{400}) نانوذرات نقره پس از افزایش اسپریمین با غلظت ۰/۵ میکرومولار و سه بایوژنیک آمین اسپرمیدین، تربیتوفان و هیستامین با غلظت ۱ میکرومولار و مخلوط اسپریمین (۰/۵ میکرومولار) و هریک از بایوژنیک آمین‌ها (۱) میکرومولار) پس از گذشت ۱۰ دقیقه

۳-۴- بررسی نمونه حقیقی

به منظور بررسی توانایی حسگر در اندازه‌گیری اسپریمین در نمونه حقیقی، طیف جذبی نانوذرات نقره در حضور ماتریس گوشت مرغ تازه استخراج شده (به عنوان محلول شاهد) و نمونه گوشت مرغ آغشته شده به اسپریمین ثبت شد. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود ماتریس گوشت مرغ سالم تغییری در طیف نانوذره نقره ایجاد نمی‌کند، در حالی که نمونه گوشت مرغ آلوده شده با اسپریمین منجر به تجمع نانوذرات نقره و تغییر پیک پلاسمون آن می‌شود. جدول ۲ نشان‌دهنده مقادیر بازایی و انحراف استاندارد در اندازه‌گیری اسپریمین در ماتریس حاصل از گوشت مرغ است که نشان‌دهنده توانایی حسگر در اندازه‌گیری اسپریمین در ماتریس پیچیده‌تر است.



شکل ۸. طیف UV-vis نانوذرات نقره در pH برابر ۶/۵ در حضور نمونه استخراج شده از مرغ سالم و نمونه استخراج شده از مرغ آغشته شده به اسپریمین با غلظت ۰/۵ و ۱ میکرومولار پس از گذشت ۱۰ دقیقه

جدول ۲. اندازه‌گیری اسپرمین در ماتریس استخراج شده از گوشت مرغ

مقدار اضافه شده (μM)	مقدار اندازه‌گیری شده (μM)	درصد بازیابی (%)	درصد انحراف استاندارد نسبی (%)
۰/۵۰	۰/۵۶	۱۱۲	۱/۸
۱/۰۰	۰/۹۵	۹۵	۲/۳

۴- نتیجه‌گیری

حسگرهای رنگ‌سنجی مبتنی بر تجمع نانوذرات نقره، به دلیل سرعت بالای پاسخ‌دهی، هزینه پایین و امکان مشاهده نتایج به صورت بصری، کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند. در سال‌های اخیر، نانوذرات طلا نیز به طور گسترده در طراحی حسگرهای رنگ‌سنجی مبتنی بر تجمع مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این حال، نانوذرات نقره در مقایسه با نانوذرات طلا دارای ضریب خاموشی بالاتر و پاسخ پلاسمونی قوی‌تری هستند که منجر به حساسیت بیشتر نسبت به تغییرات محیطی، به ویژه پدیده تجمع، می‌شود. از سوی دیگر، اگرچه نانوذرات طلا از نظر پایداری شیمیایی مزیت‌هایی دارند، اما نانوذرات نقره به دلیل هزینه کمتر و پاسخ نوری قوی‌تر، گزینه‌ای مناسب‌تر برای توسعه حسگرهای رنگ‌سنجی حساس و سریع محسوب می‌شوند. بر این اساس، در این پژوهش از نانوذرات نقره به عنوان عنصر حسگر استفاده شده است تا حساسیت و کارایی حسگر بهبود یابد.

در پژوهش حاضر، یک حسگر رنگ‌سنجی براساس تجمع نانوذرات نقره برای تشخیص و اندازه‌گیری اسپرمین طراحی شد. از آنجایی که اسپرمین نوعی پلی‌آمین محسوب می‌شود، حضور اسپرمین در محیط باعث برهمکنش الکتروستاتیک گروه‌های عاملی آمینی موجود در ساختار اسپرمین با گروه‌های کربوکسیلیک سیترات روی سطح نانوذره می‌شود و همین امر منجر به تجمع نانوذرات نقره می‌شود. این تجمع باعث کاهش فاصله بین نانوذرات و در نتیجه جفت‌شدگی پلاسمونی شده و منجر به جابه‌جایی باند پلاسمونی به طول موج‌های بلندتر (جابه‌جایی قرمز) می‌شود. این تغییر با تغییر رنگ محلول از زرد به بنفش همراه است که مبنای تشخیص رنگ‌سنجی را فراهم می‌کند.

بازه خطی حسگر طراحی شده ۰/۲ تا ۱/۰ میکرومولار می‌باشد. همچنین حد تشخیص بدست آمده برای این حسگر برابر با ۰/۰۹ میکرومولار می‌باشد که این مقدار نشان‌دهنده دقت و حساسیت بالای حسگر است. علاوه بر این، سرعت پاسخ دهی بالای این حسگر که بعد از گذشت ۱۰ دقیقه به آنالیت پاسخ می‌دهد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پاسخ تجمعی ضعیف این حسگر به سه بایونیک آمین نظیر اسپرمیدین، تریپتوفان و هیستامین، بیانگر گزینش‌پذیری بالای حسگر نسبت به اسپرمین می‌باشد. در نهایت به توانایی حسگر در اندازه‌گیری اسپرمین در نمونه استخراج شده از گوشت مرغ پرداخته شد.

۵- تقدیر و تشکر

حمایت مالی دانشگاه خوارزمی صمیمانه مورد تقدیر و تشکر قرار می‌گیرد.

۶- فهرست منابع و مآخذ

- [1] Igarashi, K., & Kashiwagi, K. (2010). Modulation of cellular function by polyamines. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 42, 39-51.
- [2] Pegg, A. E., & Casero Jr, R. A. (2011). Current status of the polyamine research field. *Polyamines: Methods and Protocols*, 3-35.
- [3] Seiler, N., Delcros, J., & Moulinoux, J. P. (1996). Polyamine transport in mammalian cells. An update. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 28, 843-861.
- [4] Schuber, F. (1989). Influence of polyamines on membrane functions. *Biochemical Journal*, 260, 1.
- [5] Takayama, T., Tsutsui, H., Shimizu, I., Toyama, T., Yoshimoto, N., Endo, Y., Inoue, K., Todoroki, K., Min, J. Z., & Mizuno, H. (2016). Diagnostic approach to breast cancer patients based on target metabolomics in saliva by liquid chromatography with tandem mass spectrometry. *Clinica chimica acta*, 452, 18-26.
- [6] Tian, H.-W., Chang, Y.-X., Hu, X.-Y., Shah, M. R., Li, H.-B., & Guo, D.-S. (2021). Supramolecular imaging of spermine in cancer cells. *Nanoscale*, 13, 15362-15368.
- [7] Kuo, P.-C., Lien, C.-W., Mao, J.-Y., Unnikrishnan, B., Chang, H.-T., Lin, H.-J., & Huang, C.-C. (2018). Detection of urinary spermine by using silver-gold/silver chloride nanozymes. *Analytica chimica acta*, 1009, 89-97.
- [8] Khan, S. A., & Misra, T. K. (2022). Novel gluconate stabilized gold nanoparticles as a colorimetric sensor for quantitative evaluation of spermine. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 648, 129146.
- [9] Muñoz-Esparza, N. C., Latorre-Moratalla, M. L., Comas-Basté, O., Toro-Funes, N., Veciana-Nogués, M. T., & Vidal-Carou, M. C. (2019). Polyamines in food. *Frontiers in nutrition*, 6, 108.
- [10] Igarashi, K., & Kashiwagi, K. (2011). Use of polyamine metabolites as markers for stroke and renal failure. *Polyamines: Methods and Protocols*, 395-408.
- [11] Barghi Lish, A., Kolvari, E., Foroumadi, A., & Koukabi, N. (2024). Investigation of the Cytotoxic Potencies of substituted dipyrrolo[1,2-a:2',1'-c]pyrazines and substituted pyrrolo[2'',1'':3',4']pyrazino[1',2':1,5]pyrrolo[2,3-d]pyridazine-8(9H)-ones. *Applied Chemistry Today*, 19, 55-72.
- [12] Prester, L. (2011). Biogenic amines in fish, fish products and shellfish: a review. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 28, 1547-1560.
- [13] Muñoz-Esparza, N. C., Costa-Catala, J., Comas-Basté, O., Toro-Funes, N., Latorre-Moratalla, M. L., Veciana-Nogués, M. T., & Vidal-Carou, M. C. (2021). Occurrence of polyamines in foods and the influence of cooking processes. *Foods*, 10, 1752.
- [14] Igarashi, K., Ota, S., Kaneko, M., Hirayama, A., Enomoto, M., Katumata, K., Sugimoto, M., & Soga, T. (2021). High-throughput screening of salivary polyamine markers for discrimination of

- colorectal cancer by multisegment injection capillary electrophoresis tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1652, 462355.
- [15] Magnes, C., Fauland, A., Gander, E., Narath, S., Ratzer, M., Eisenberg, T., Madeo, F., Pieber, T., & Sinner, F. (2014). Polyamines in biological samples: Rapid and robust quantification by solid-phase extraction online-coupled to liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Journal of chromatography A*, 1331, 44-51.
- [16] Khan, H. (2006). TLC determination of aliphatic polyamines on calcium sulfate layers. *Chromatographia*, 64, 423-427.
- [17] Aflaki, F., Ghoulipour, V., Saemian, N., & Salahinejad, M. (2014). A simple method for benzoyl chloride derivatization of biogenic amines for high performance liquid chromatography. *Analytical Methods*, 6, 1482-1487.
- [18] Rawat, K. A., Bhamore, J. R., Singhal, R. K., & Kailasa, S. K. (2017). Microwave assisted synthesis of tyrosine protected gold nanoparticles for dual (colorimetric and fluorimetric) detection of spermine and spermidine in biological samples. *Biosensors and Bioelectronics*, 88, 71-77.
- [19] Wang, J., Wu, Z. L., Zhang, H. Z., Li, Y. F., & Huang, C. Z. (2017). Selective colorimetric analysis of spermine based on the cross-linking aggregation of gold nanoparticles chain assembly. *Talanta*, 167, 193-200.
- [20] Stebounova, L. V., Guio, E., & Grassian, V. H. (2011). Silver nanoparticles in simulated biological media: a study of aggregation, sedimentation, and dissolution. *Journal of Nanoparticle Research*, 13, 233-244.
- [21] Arabahmadi, R. (2024). Synthesis of a new azo Schiff base colorimetric chemosensor for detection of cyanide and acetate anions. *Applied Chemistry Today*, 19, 75-86.(in Persian)
- [22] Shafiekani, H., Mostaghni, F., Madadi Mahani, N., & Ahmadi, S. (2024). Spectrophotometric Determination of Trace Amount of Fluoride by New Eco-friendly Colorimetric Chemosensor Based on Al-Bromopyrogallol Red Complex. *Applied Chemistry Today*, 19, 37-54.(in Persian)
- [23] Danchuk, A. I., Komova, N. S., Mobarez, S. N., Doronin, S. Y., Burmistrova, N. A., Markin, A. V., & Duerkop, A. (2020). Optical sensors for determination of biogenic amines in food. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 412, 4023-4036.
- [24] Huang, C., Wang, S., Zhao, W., Zong, C., Liang, A., Zhang, Q., & Liu, X. (2017). Visual and photometric determination of histamine using unmodified gold nanoparticles. *Microchimica Acta*, 184, 2249-2254.
- [25] Li, H., Gan, J., Yang, Q., Fu, L., & Wang, Y. (2021). Colorimetric detection of food freshness based on amine-responsive dopamine polymerization on gold nanoparticles. *Talanta*, 234, 122706.
- [26] Kailasa, S. K., Desai, M. L., Baek, S. H., Phan, L. M. T., Nguyen, T. P., Rafique, R., & Park, T. J. (2019). Independent spectral characteristics of functionalized silver nanoparticles for colorimetric assay of arginine and spermine in biofluids. *New Journal of Chemistry*, 43, 17069-17077.

- [27] Jornet-Martínez, N., González-Béjar, M., Moliner-Martínez, Y., Campíns-Falcó, P., & Pérez-Prieto, J. (2014). Sensitive and selective plasmonic assay for spermine as biomarker in human urine. *Analytical chemistry*, 86, 1347-1351.
- [28] El-Nour, K., Salam, E., Soliman, H., & Orabi, A. (2017). Gold nanoparticles as a direct and rapid sensor for sensitive analytical detection of biogenic amines. *Nanoscale research letters*, 12, 231.
- [29] Ghoto, S. A., & Khuhawar, M. Y. (2021). Silver nanoparticles for a colorimetric determination of putrescine and cadaverine in biological samples. *Analytical Sciences*, 37, 267-274.
- [30] Tan, X., Liu, X., Zeng, W., Zhang, Z., Huang, T., Yu, L., & Zhao, G. (2019). Colorimetric sensing towards spermine based on supramolecular pillar [5] arene reduced and stabilized gold nanoparticles. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 221, 117176.
- [31] Alberti, G., Zaroni, C., Magnaghi, L. R., & Biesuz, R. (2021). Gold and silver nanoparticle-based colorimetric sensors: New trends and applications. *Chemosensors*, 9, 305.
- [32] Abolhasani, J., Samadi, A., Ghorbani-Kalhor, E., & Serrpoush Hamid, N. (2013). Colorimetric Determination of Thioamide Drugs Based on the Surface Plasmon Resonance Band of Colloidal Silver Nanoparticles. *Applied Chemistry Today*, 8, 25-30.
- [33] Daneshfar, A., & Sahrai, R. (2012). Antisolvent-induced encapsulation for extraction/preconcentration of silver nanoparticles. *Applied Chemistry Today*, 7, 35-41.
- [34] Yanish, Y. V., Zaletok, S., Vityuk, N., & Mukha, Y. P. (2021). Application of gold and silver nanoparticles for selective assay of spermine in mixture with spermidine. *Experimental Oncology*, 43, 77-81.
- [35] Ghasemi, F., Hormozi-Nezhad, M. R., & Mahmoudi, M. (2018). Label-free detection of β -amyloid peptides (A β 40 and A β 42): a colorimetric sensor array for plasma monitoring of Alzheimer's disease. *Nanoscale*, 10, 6361-6368.
- [36] Gao, F., Grant, E., & Lu, X. (2015). Determination of histamine in canned tuna by molecularly imprinted polymers-surface enhanced Raman spectroscopy. *Analytica chimica acta*, 901, 68-75.