اندازه گیری نورفلوکساسین در نمونه های پساب با استفاده از یک حسگر رنگ سنجی بر مبنای گوشی هوشمند

محمدرضا جلالی سروستانی[۱]، **مهناز قمی**[۲،۳*]

[۱]باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی(ره) شهر ری، تهران

[۲]گروه شیمی دارویی، دانشکده داروسازی و علوم دارویی، دانشگاه علوم پزشکی آزاد تهران، تهران، ایران

[۳] مرکز تحقیقات مواد اولیه دارویی، دانشگاه علوم پزشکی آزاد تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸

چکیده

اندازه گیری آنتی بیوتیک ها از اهمیت زیادی برخوردار است. از این رو، در این تحقیق، یک حسگر رنگ سنجی مبتنی بر واکنش آهن سه ظرفیتی و نورفلوکساسین و ایجاد یک کمپلکس مشکی رنگ حاصل از واکنش آنها، طراحی شده است. برای این منظور، ابتدا تمامی شرایط با روش یک فاکتور در یک زمان، مورد بهینه سازی قرار گرفت تا بیشترین میزان حساسیت حاصل شود. سپس، در شرایط بهینه (pH=3.0، زمان تماس ۶۰ ثانیه، غلظت آهن ۱۰۰ ppm) حسگر طراحی شده، رنج خطی مناسبی از ۱ تا ۱۰۰ میکرومولار از خود نشان داد. حدتشخیص و حد کمی سازی به ترتیب برابر ۰/۳۱ و ۰/۹۹ می باشد. در روش توسعه داده شده از گوشی هوشمند و آنالیز رنگ های سبز، قرمز و آبی عکس های گرفته شده از آن، به عنوان سیگنال تجزیه ای استفاده گردید، در نتیجه روش توسعه داده شده از مزایای قابل حمل بودن و ارزان بودن نیز برخوردار است. در نهایت، از روش پیشنهادی برای آنالیز نورفلوکساسین در سه نمونه پساب استفاده گردید و نتایج با یک روش استاندارد مقایسه شد.

کلمات کلیدی: نورفلوکساسین، رنگ سنجی، گوشی هوشمند، حسگر نوری

* Mahnaz.Qomi@gmail.com

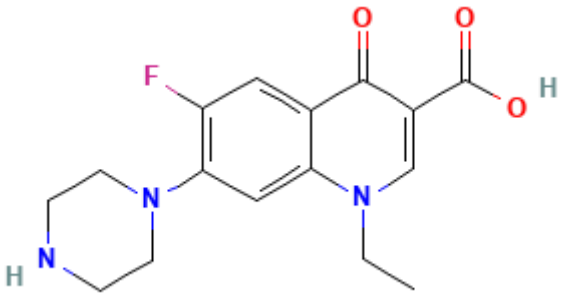
[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

مقدمه

مطالعات نشان داده است که اندازه گیری آنتی بیوتیک نورفلوکساسین (شکل ۱) از اهمیت بسیاری برخوردار است(۱). این آنتی بیوتیک یکی از مهم‌ترین داروهای استفاده شده در درمان عفونت‌های باکتریایی است و اندازه گیری دقیق آن می‌تواند تأثیر زیادی در تعیین درستی درمان و پیش‌بینی نتایج داشته باشد(۲). اهمیت اندازه گیری آنتی بیوتیک نورفلوکساسین در مقابله با مقاومت دارویی نیز بسیار حائز اهمیت است(۳). با توجه به افزایش روزافزون مقاومت باکتری‌ها به داروهای آنتی بیوتیک، اندازه گیری دقیق و صحیح آنتی بیوتیک‌ها می‌تواند کمک شایانی به جلوگیری از گسترش مقاومت باکتریایی و انتخاب درست درمان مناسب برای بیماران داشته باشد (۴). علاوه بر این، اندازه گیری آنتی بیوتیک نورفلوکساسین می‌تواند در بهبود کارایی و کاربرد صحیح دارو در درمان‌های پزشکی نقش مؤثری داشته باشد (۵). با تعیین دقیق دوز مناسب و همچنین زمان مناسب مصرف، این آنتی بیوتیک می‌تواند بهبود قابل توجهی در درمان برخی از عفونت‌های باکتریایی و کاهش احتمال عود بیماری داشته باشد(۶). با توجه به این نکات، مشخص است که اندازه گیری آنتی بیوتیک نورفلوکساسین از اهمیت بسزایی برخوردار است و نقش مؤثر و حیاتی در بهبود کارایی درمان‌های پزشکی و کاهش مقاومت باکتری‌ها دارد (۷). به همین دلیل، تأکید بر اندازه گیری دقیق و صحیح آنتی بیوتیک نورفلوکساسین و اعمال استانداردهای لازم در این زمینه امری ضروری و حائز اهمیت است(۹). روش های متعددی برای اندازه گیری نورفلوکساسین گزارش شده است که مهم ترین آنها اسپکتروفوتومتری و کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا می باشد(۱۰). دو روش نام برده به دستگاه های گرانی نیاز دارند و زمان آنالیز آنها نیز طولانی می باشد. در مقابل روش نام برده شده روش رنگ سنجی مبتنی بر گوشی هوشمند وجود دارد. با پیشرفت فناوری و استفاده گسترده از دستگاه‌های هوشمند، روش‌های جدیدی برای انجام آزمایش‌های شیمیایی و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها به کار گرفته می‌شود. یکی از این روش‌ها، استفاده از دوربین و نورسنج گوشی‌های هوشمند برای انجام آنالیز رنگی نمونه‌هاست(۱۱). این روش که به نام "رنگ سنجی مبتنی بر گوشی هوشمند" شناخته می‌شود، امکان اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها و تحلیل آن‌ها را با دقت بالا و در زمان کوتاه فراهم می‌کند(۱۲). با استفاده از این روش، محققان و شیمی‌دانان قادرند تا با استفاده از دوربین گوشی هوشمند، تصاویر نمونه‌های خود را ثبت کرده و با استفاده از نرم‌افزارهای مخصوص، رنگ آن‌ها را اندازه‌گیری و تحلیل کنند(۱۳). این روش علاوه بر دقت بالا، هزینه و زمان کمتری نسبت به روش‌های سنتی دارد و به عنوان یک روش سریع و موثر در تجزیه و تحلیل نمونه‌ها شناخته می‌شود(۱۴). علاوه بر این، رنگ سنجی مبتنی بر گوشی هوشمند قابل استفاده در زمینه‌های مختلف شیمی تجزیه مانند تعیین غلظت محلول‌ها، تحلیل مواد غذایی، تجزیه و تحلیل آب و فاضلاب و ... است (۱۵). این روش با استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته تصویربرداری و پردازش تصویر، به محققان این امکان را می‌دهد که با دقت بالا و در زمان کمتر، نمونه‌های خود را تجزیه و تحلیل کنند(۱۶). با توجه به مزایای فراوان این روش، استفاده از رنگ سنجی مبتنی بر گوشی هوشمند در زمینه شیمی تجزیه به عنوان یک روش پیشرفته و کارآمد، پیشنهاد می‌شود(۱۷). این روش نه تنها به بهبود دقت و سرعت آزمایشات شیمیایی کمک می‌کند، بلکه هزینه‌های مربوط به تجزیه و تحلیل نمونه‌ها را نیز کاهش می‌دهد(۱۸). به علاوه، استفاده از دستگاه‌های هوشمند برای انجام آزمایشات، به محققان این امکان را می‌دهد که در هر زمان و مکانی که باشند، به تجزیه و تحلیل نمونه‌ها بپردازند (۱۹، ۲۰). از این رو، در این تحقیق، یک حسگر رنگ سنجی مبتنی بر واکنش

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

نورفلوکساسین با آهن سه ظرفیتی ۹ آبه و تشکیل کمپلکس مشکی رنگ و سنجش رنگ به دست آمده با گوشی هوشمند، طراحی گردید.



شکل ۱- ساختار شیمیایی نورفلوکساسین

بخش تجربی

مواد و دستگاه ها

تمامی مواد و واکنشگرهای استفاده شده از شرکت مرک آلمان خریداری شد.ماده موثره خالص نورفلوکساسین از داروسازی رازک تهیه شد. از یک گوشی هوشمند ساخت شرکت سامسونگ مدل A22 و نرم افزار RGB color detector برای تشخیص اجزا رنگ عکس های گرفته شده، استفاده گردید. نمونه های پساب از یک کارخانه داروسازی واقع در تهران، ایران تهیه گردید. نمونه های حقیقی با دستگاه کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا برند waters مورد آنالیز قرار گرفت.

روش تجزیه ای

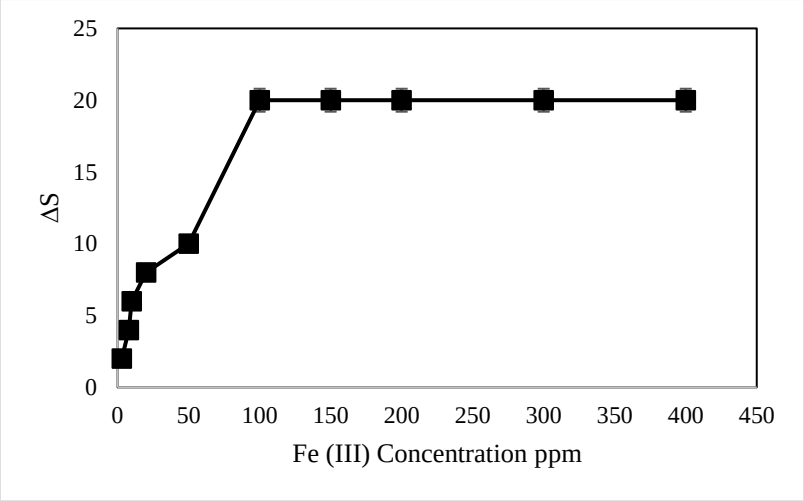
ابتدا محلول های مختلف استاندارد از آنتی بیوتیک نورفلوکساسین ساخته شد، سپس از یک محلول غلیظ یون فریک (۱۰۰۰۰ppm) مقدار ۱۰۰ میکرولیتر یون آهن سه ظرفیتی تحت شرایط بهینه به محلول ها اضافه شد و پس از ۶۰ ثانیه محلول از حالت بی رنگ به مشکی تغییر رنگ داد. در مرحله بعد عکس با گوشی هوشمند گرفته شد و تفاوت مقادیر RGB عکس محلول ها با مقادیر RGB محلول شاهد (محلول حاوی آب و یون فریک) به عنوان سیگنال تجزیه ای استفاده گردید.

نتایج و بحث

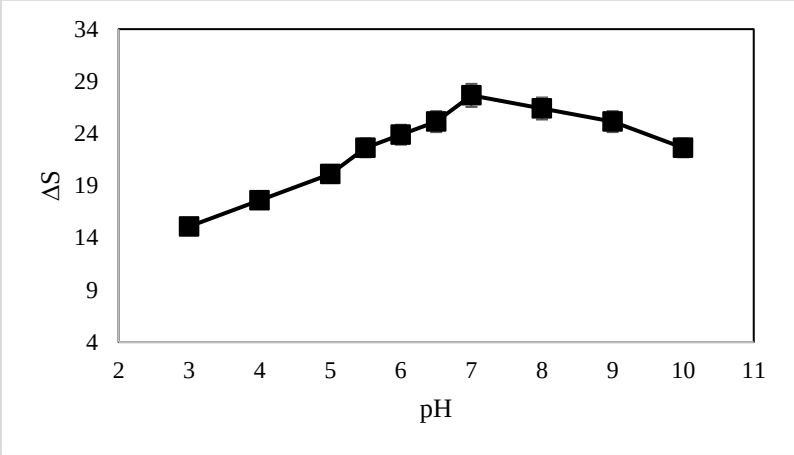
بهینه سازی پارامترهای موثر

برای رسیدن به نهایت حساسیت، تمامی عوامل موثر بر سیگنال تجزیه ای با روش یک فاکتور در یک زمان مورد بهینه سازی قرار گرفت. اولین پارامتر بررسی شده غلظت آهن سه ظرفیتی در محلول نهایی بود (شکل ۲)، همانطور که ملاحظه می شود با افزایش غلظت آهن تا ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر در محلول نهایی سیگنال افزایش می یابد و پس از آن ثابت می شود. در غلظت های کمتر، به نظر میرسد که آهن کافی برای تشکیل کمپلکس وجود ندارد اما در غلظت های زیادتر از ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نیز محلول اشباع می شود. سپس اثر pH مورد بررسی قرار گرفت در محلول های اسیدی و قلیایی سیگنال کاهش شدیدی تجربه کرده و بهترین پاسخ در pH=۷ مشاهده شد (شکل ۳) و آخرین پارامتر مورد بررسی زمان تماس بود همانطور که داده های ارائه شده در شکل ۴ به وضوح نشان می دهند، تا زمان ۶۰ ثانیه سیگنال حالتی افزایشی و پس از آن ثابت می شود. از این رو، زمان ۱ دقیقه به عنوان زمان بهینه انتخاب گردید.

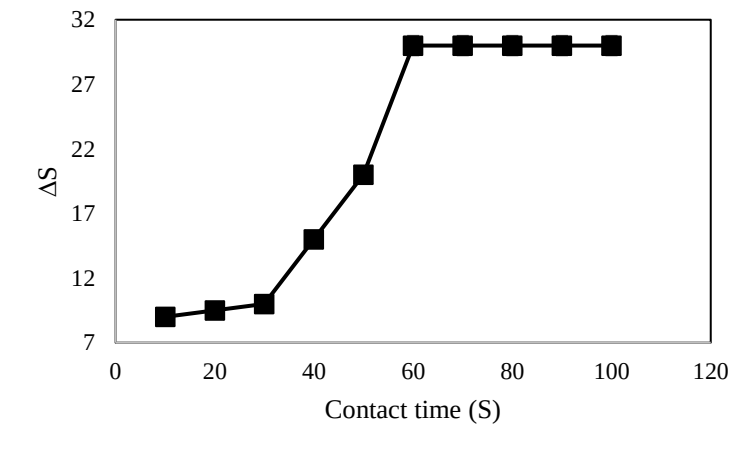
[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]



شکل ۲- تاثیر غلظت یون فریک



شکل ۳- تاثیر pH

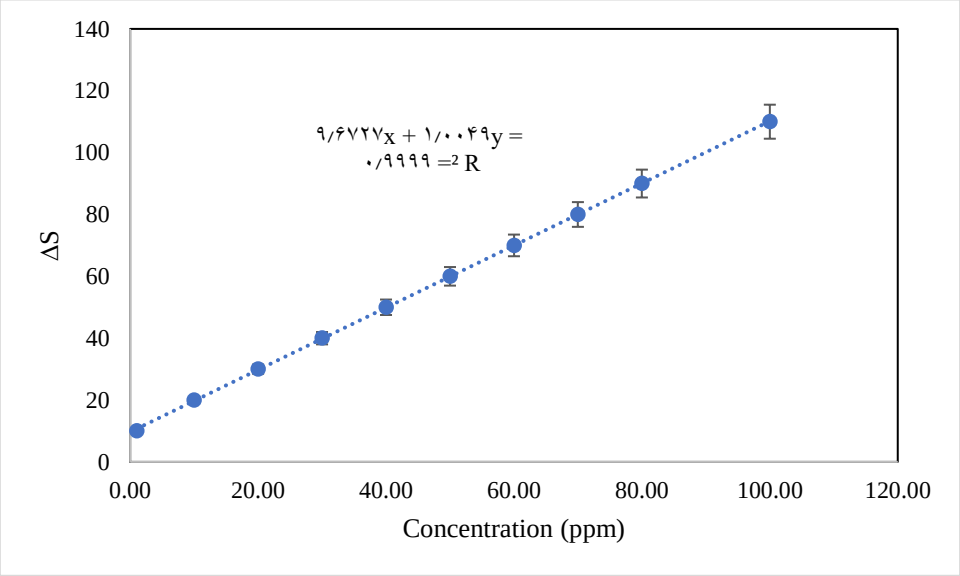


شکل ٤- تاثیر زمان تماس

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

منحنی کالیبراسیون و اعتبار سنجی

پس از بهینه سازی شرایط، منحنی کالیبراسیون رسم گردید و نتایج آن در شکل ۵ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می شود یک رابطه خطی میان غلظت و شدت سیگنال در محدوده ۱ الی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر مشاهده می گردد. حد تشخیص و حد کمی سازی روش نیز به ترتیب برابر ۰/۳۱ و ۰/۹۹بود.



شکل ۵- منحنی کالیبراسیون

برای اعتبار سنجی روش، ۵ سری محلول با غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر ساخته شد و سپس سیگنال آن اندازه گیری و مقدار انحراف استاندارد نسبی محاسبه شد که برابر با ۳/۵۵ درصد بود. همچنین گزینش پذیری روش مورد بررسی قرار گرفت و مزاحمت جدی مشاهده نشد. در نهایت از روش پیشنهادی برای اندازه گیری نورفلوکساسین در سه نمونه پساب، استفاده شد و نتایج آن با روش کرماتوگرافی مایع با عملکرد بالا مقایسه شد (جدول ۱) همانطور که ملاحظه می شود نتایج با هم تطابق خوبی دارند

جدول ۱- نتایج کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا

نمونه ها	نتایج رنگ سنجی (میلی گرم بر لیتر)	نتایج کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا (میلی گرم بر لیتر)
پساب ۱	۳۳/۱۰	۳۲/۸۵
پساب ۲	۱/۲۵	۱/۱۰
پساب ۳	۷۶/۵۰	۷۵/۹۰

نتیجه گیری

اندازه‌گیری آنتی‌بیوتیک‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین دلیل، در این تحقیق، یک حسگر رنگ سنجی مبتنی

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

بر واکنش آهن سه ظرفیتی و نورفلوکساسین و ایجاد یک کمپلکس مشکی رنگ حاصل از واکنش آنها، طراحی شده است. در نهایت، از روش پیشنهادی برای آنالیز نورفلوکساسین در سه نمونه پساب استفاده گردید و نتایج با یک روش استاندارد مقایسه شد. این نتایج نشان داد که حسگر طراحی شده به خوبی قابل استفاده برای اندازه‌گیری نورفلوکساسین در نمونه‌های پساب است و دقت آن با روش استاندارد همخوانی دارد. با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که حسگر رنگ سنجی مبتنی بر واکنش آهن سه ظرفیتی و نورفلوکساسین، روش مناسبی برای اندازه‌گیری و تشخیص غلظت این آنتی‌بیوتیک در محیط‌های مختلف است. این روش با دقت و سرعت بالا، قابل استفاده در صنایع مختلف از جمله صنایع پزشکی و محیط‌زیست است و می‌تواند به عنوان یک ابزار مؤثر در کنترل کیفیت و ایمنی محصولات مورد استفاده قرار گیرد.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

منابع

1. Urban-Chmiel R, Marek A, Stępień-Pyśniak D, Wieczorek K, Dec M, Nowaczek A, Osek J. Antibiotic resistance in bacteria—A review. Antibiotics. 2022 Aug 9;11(8):1079.
2. Larsson DG, Flach CF. Antibiotic resistance in the environment. Nature Reviews Microbiology. 2022 May;20(5):257-69.
3. Church NA, McKillip JL. Antibiotic resistance crisis: challenges and imperatives. Biologia. 2021 May;76(5):1535-50.
4. Darby EM, Trampari E, Siasat P, Gaya MS, Alav I, Webber MA, Blair JM. Molecular mechanisms of antibiotic resistance revisited. Nature Reviews Microbiology. 2023 May;21(5):280-95.
5. Chinemerem Nwobodo D, Ugwu MC, Oliseloke Anie C, Al-Ouqaili MT, Chinedu Ikem J, Victor Chigozie U, Saki M. Antibiotic resistance: The challenges and some emerging strategies for tackling a global menace. Journal of clinical laboratory analysis. 2022 Sep;36(9):e24655.
6. Mancuso G, Midiri A, Gerace E, Biondo C. Bacterial antibiotic resistance: the most critical pathogens. Pathogens. 2021 Oct 12;10(10):1310.
7. Uddin TM, Chakraborty AJ, Khusro A, Zidan BR, Mitra S, Emran TB, Dhama K, Ripon MK, Gajdács M, Sahibzada MU, Hossain MJ. Antibiotic resistance in microbes: History, mechanisms, therapeutic strategies and future prospects. Journal of infection and public health. 2021 Dec 1;14(12):1750-66.
8. Huemer M, Mairpady Shambat S, Brugger SD, Zinkernagel AS. Antibiotic resistance and persistence—Implications for human health and treatment perspectives. EMBO reports. 2020 Dec 3;21(12):e51034.
9. Aslam B, Khurshid M, Arshad MI, Muzammil S, Rasool M, Yasmeen N, Shah T, Chaudhry TH, Rasool MH, Shahid A, Xueshan X. Antibiotic resistance: one health one world outlook. Frontiers in cellular and infection microbiology. 2021 Nov 25;11:771510.
10. Diallo OO, Baron SA, Abat C, Colson P, Chaudet H, Rolain JM. Antibiotic resistance surveillance systems: A review. Journal of Global Antimicrobial Resistance. 2020 Dec 1;23:430-8.
11. Shen L, Hagen JA, Papautsky I. Point-of-care colorimetric detection with a smartphone. Lab on a Chip. 2012;12(21):4240-3.
12. Kap Ö, Kılıç V, Hardy JG, Horzum N. Smartphone-based colorimetric detection systems for glucose monitoring in the diagnosis and management of diabetes. Analyst. 2021;146(9):2784-806.
13. Balbach S, Jiang N, Moreddu R, Dong X, Kurz W, Wang C, Dong J, Yin Y, Butt H, Brischwein M, Hayden O. Smartphone-based colorimetric detection system for portable health tracking. Analytical Methods. 2021;13(38):4361-9.
14. Mutlu AY, Kılıç V, Özdemir GK, Bayram A, Horzum N, Solmaz ME. Smartphone-based colorimetric detection via machine learning. Analyst. 2017;142(13):2434-41.
15. Dong C, Wang Z, Zhang Y, Ma X, Iqbal MZ, Miao L, Zhou Z, Shen Z, Wu A. High-performance colorimetric detection of thiosulfate by using silver nanoparticles for smartphone-based analysis. ACS sensors. 2017 Aug 25;2(8):1152-9.
16. Oncescu V, O'Dell D, Erickson D. Smartphone based health accessory for colorimetric detection of biomarkers in sweat and saliva. Lab on a Chip. 2013;13(16):3232-8.
17. Sajed S, Arefi F, Kolahdouz M, Sadeghi MA. Improving sensitivity of mercury detection using learning based smartphone colorimetry. Sensors and Actuators B: Chemical. 2019 Nov 1;298:126942.
18. Zhang XX, Song YZ, Fang F, Wu ZY. Sensitive paper-based analytical device for fast colorimetric detection of nitrite with smartphone. Analytical and bioanalytical chemistry. 2018 Apr;410:2665-9.
19. Kong L, Gan Y, Liang T, Zhong L, Pan Y, Kirsanov D, Legin A, Wan H, Wang P. A novel smartphone-based CD-spectrometer for high sensitive and cost-effective colorimetric detection of ascorbic acid.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

Analytica Chimica Acta. 2020 Jan 6;1093:150-9.

20. Cao Y, Liu Y, Li F, Guo S, Shui Y, Xue H, Wang L. Portable colorimetric detection of copper ion in drinking water via red beet pigment and smartphone. Microchemical Journal. 2019 Nov 1;150:104176.

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]

Measurement of Norfloxacin in Effluent Samples Using a Smartphone-Based Colorimetric Sensor

Mohammad Reza Jalali Sarvestani[1], **Mahnaz Qomi[2,3*]**

[1] Young Researchers and Elite Club, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahr-e-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

[2] Department of Medicinal Chemistry, Faculty of Pharmacy, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran

[3] Active Pharmaceutical Ingredients Research Center (APIRC), Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

The measurement of antibiotics is of great importance. Therefore, in this research, a colorimetric sensor based on the reaction of ferric iron and norfloxacin and the formation of a black complex resulting from their reaction has been designed. For this purpose, all conditions were optimized using a one-factor-at-a-time method to achieve the highest sensitivity. Then, under optimal conditions (pH=3.0, contact time 60 seconds, iron concentration 100 ppm), the designed sensor showed a suitable linear range from 1 to 100 micromolar. The detection limit and quantification limit are 0.31 and 0.99, respectively. In the developed method, a smartphone and the analysis of green, red, and blue colors from the captured images were used as the analytical signal, thus the developed method also benefits from portability and low cost. Finally, the proposed method was used for the analysis of norfloxacin in three wastewater samples, and the results were compared with a standard method.

Keywords: Norfloxacin, colorimetry, smartphone, optical sensor

* mahnaz.qomi@gmail.com

[Downloaded from mail.amfi.ir on 2026-11-08]