بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۱-۲۴۵۳-۱۰-A

# اندازه‌گیری غلظت محلول‌ها با کمک پراش نور لیزر

**سنا بهمن‌پور، علی خانیها و علی محمودی**

**گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم**

**bahmanpoursana@gmail.com, alikhaniha14@gmail.com, a.mahmoudi@qom.ac.ir**

**چکیده - در این مقاله امکان کاربرد پراش نور لیزر در اندازه‌گیری دقیق غلظت محلول گلوکز بررسی شده است. با انجام آزمایش، نشان داده‌ایم که نمایانی ناحیه‌ی مرکزی طرح پراش نور از لبه‌ی یک تیغه شیشه‌ای،با تغییر غلظت محلول اطراف شیشه تغییر می‌کند. این تغییر به صورت دوره‌ای است و دوره تغییرات نمایانی به ضخامت شیشه و ضریب شکست آن بستگی دارد. با تغییر ضخامت شیشه (یا ضریب شکست آن)، بازه غلظت‌های قابل اندازه‌گیری و دقت اندازه‌گیری را می‌توان تنظیم کرد. در مقایسه با روش‌های دیگری که معمولاً در اندازه‌گیری غلظت محلول‌ها به کار می‌رود، روش گزارش شده ساده‌تر، ارزان و دقیق است.**

کلیدواژه- اندازه‌گیری نوری، پراش نور، غلظت محلول

# Measurementof Solution Concentration using Laser Light Diffraction

**Sana Bahmanpour, Ali Khaniha, and Ali Mahmoudi**

**Physics Department, Faculty of Sciences, University of Qom**

**bahmanpoursana@gmail.com, alikhaniha14@gmail.com, a.mahmoudi@qom.ac.ir**

**Abstract- In this paper we describe an experimental method for measurement of glucose solution concentration based on laser light diffraction. It is shown that if laser light is diffracted from the edge of a glass plate immersed in a solution, then visibility of diffraction fringes in the central region of diffraction pattern is varied with solution concentration and this variation is periodic. By choosing glass plates with known refractive index and thickness, the accuracy and extent of measurable concentrations can be changed. The proposed method is simple, inexpensive and accurate.**

Keywords: Light Diffraction, Optical Metrology, Solution Concentration



این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

## مقدمه

سنجش غلظت محلول‌ها در حوزه‌های مختلفی از دانش، فناوری و صنعت مورد توجه است. این حوزه‌ها از صنایع شیمیایی و غذایی تا پزشکی و بهداشت را دربرمی‌گیرد. از این میان به‌طور نمونه اندازه‌گیری غلظت محلول گلوکز در صنایع غذایی و شیمیایی و نیز پزشکی مورد توجه است.روش‌های مختلفی برای این سنجش وجود دارد که از این میان روش‌های سریع و غیرمخرب مانند روش‌های اپتیکی بیشتر مورد توجه هستند. روش‌های اپتیکی اندازه‌گیری غلظت محلول‌ها به طور مثال شامل طیف-سنجی عبوری برای محلول‌های آبی[۱] و تداخل‌سنجی نوری بر پایه فیبر[۲و۳] می‌باشند. از سوی دیگر در چند سال گذشته کاربرد پراش نور از پله فازی[۴] در اندازه‌گیری‌های دقیق توسط محققین متعددی گزارش شده است. از جمله این اندازه‌گیری‌ها می‌توان به سنجش دقیق ضریب شکست[۵] و سنجش میزان همدوسی نور[۶] اشاره کرد. در این مقاله گزارشی از روش اندازه‌گیری غلظت محلول گلوکز برپایه پراش نور لیزر ارائه می‌کنیم. تغییر غلظت محلول گلوکز سبب تغییر نمایانی(visibility) طرح پراش نور از لبه‌ی یک شیشه درون محلول می‌گردد. بنابراین با مدرج‌سازی دقیق نمایانی برحسب غلظت، قادر به اندازه‌گیری غلظت محلول هستیم. دقت اندازه‌گیری و بازه‌ی غلظت‌های قابل اندازه‌گیری با این روش با انتخاب شیشه مناسب (از نظر ضریب شکست و ضخامت) قابل تنظیم است. با انتخاب شیشه‌ی نازکتر، می‌توان بازه‌ی غلظت‌های قابل اندازه‌گیری را گسترش داد و همچنین با افزودن ضخامت شیشه می‌شود توان تفکیک را بهبود بخشید.

## پراش نور از لبه جسم شفاف

در پراش نور موازی، همدوس و تکفام از پله فازی(مثل لبه یک تیغه شیشه‌ای)، تابع توزیع شدت نور در صفحه مشاهده را می‌توان به سادگی محاسبه کرد[۷]؛ این توزیع شدت،تابع طول موج و دامنه نور فرودی، زاویه فرود نور، فاصله پرده مشاهده از پله و تغییر فاز ایجاد شده توسط پله است و تغییر هر یک از این عوامل، طرح پراش را دچار تغییر می‌کند. اگر از یک پرتوی نور تک‌رنگ موازی(مانند لیزر HeNe) بهره برده و فاصله پله فازی تا پرده مشاهده (دوربین CCD) را ثابت نگه داریم، آنگاه با تغییر اختلاف فاز می توان تغییرات طرح پراش را ثبت و بررسی کرد.

از طرف دیگر در پراش از لبه شیشه،اختلاف فاز بین پرتوهای عبوری از دو سوی لبه از معادله (۱) پیروی می‌کند.

$$\varphi = kh\left(\sqrt{N^2 - n^2\sin^2\theta_i} - n\cos\theta_i\right) \qquad (۱)$$

در معادله (۱)، $h$ ضخامت شیشه، $k$ عدد موج نور فرودی (برابر با $\frac{2\pi}{\lambda}$)،$N$ضریب شکست شیشه، $n$ ضریب شکست محیط اطراف شیشه و $\theta_i$اختلاف زاویه‌ی فرود نور بر لبه شیشه (نسبت به خط عمود بر شیشه) می‌باشند. در حالت فرود عمودی نور بر لبه شیشه، $\theta_i = 0^\circ$ بوده و معادله (۱) به شکل زیر ساده می‌شود:

$$\varphi = kh\left(N - n\right) \qquad (۲)$$

معادله (۲) نشان می‌دهد که با ثابت بودن ضخامت و ضریب شکست شیشه و طول موج نور، اختلاف فاز و در نهایت طرح توزیع شدت در صفحه CCD، تنها به ضریب شکست محیط اطراف شیشه وابسته خواهد بود و به ازای هر $2\pi$ اختلاف فاز، طرح پراش تغییر دوره‌ای دارد.

اگر دامنه تغییر غلظت محلول خیلی گسترده نباشد انتظار می‌رود بین غلظت و ضریب شکست محلول رابطه‌ای خطی برقرار باشد[۸]:

$$n_2 - n_1 = M\left(C_2 - C_1\right) \qquad (۳)$$


این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

که در این رابطه، $n_1$ و $C_1$ و $n_2$ و $C_2$ ضریب شکست و غلظت محلول در دو نقطه متفاوت و $M$ ضریبی ثابت وابسته به نوع محلول می‌باشد.بنابراین با افزایش تدریجی غلظت، اختلاف فاز (۲) به تدریج افزایش می‌یابد.

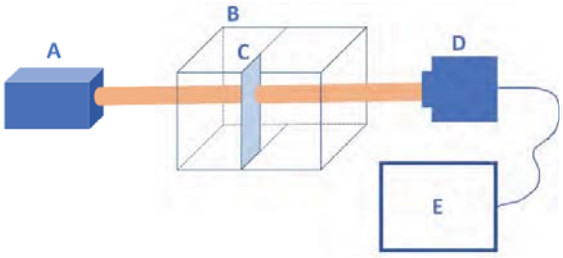
با ترکیب معادلات (۲) و (۳)، تغییرات اختلاف فاز نور را می‌توان به صورت معادله (۴) به تغییر غلظت محلول مربوط کرد:

$$|\Delta\varphi| = Mkh\Delta C \qquad (۴)$$

تغییر اختلاف فاز بالا، سبب تغییر دوره‌ای طرح پراش خواهد شد و نمایانی طرح به‌صورت دوره‌ای تغییر می-کند.پس تغییرات غلظت به صورت مستقیم و قابل محاسبه‌ای بر روی میزان نمایانی تاثیر خواهد گذاشت؛ که با توجه به معادله (۴) و ثابت بودن طول موج، هرچه ضخامت شیشه کاهش یابد، هر دوره تناوب از نمایانی معادل بازه‌ی وسیع‌تری از غلظت خواهد شد.

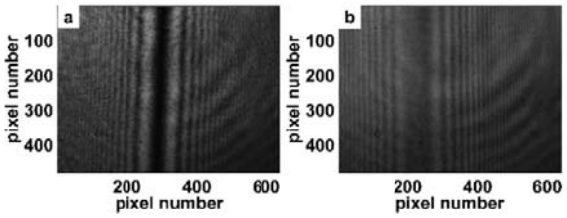
## چیدمان و آزمایش

در شکل ۱ نور لیزر هلیم-نئون (A) با طول موج ۶۳۳ نانومتر بر لبه شیشه (C) تابانده می‌شود. شیشه درون محفظه‌ای شفاف (B) محتوی محلول آبی گلوکز قرار داده شده است. با افزایش تدریجی غلظت محلول، در هر غلظت معین طرح پراش توسط دوربین (D) ۱۲ بیتی Celestron 618Mثبت و سپس مجموعه تصاویر با کمک یک برنامه متلب با رایانه (E)تحلیل می‌شوند.

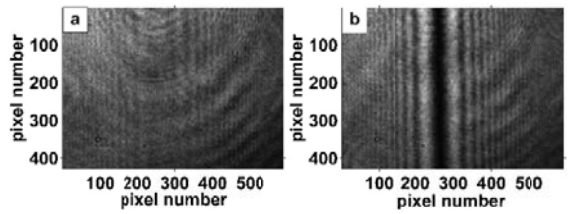



شکل۱: چیدمان آزمایش

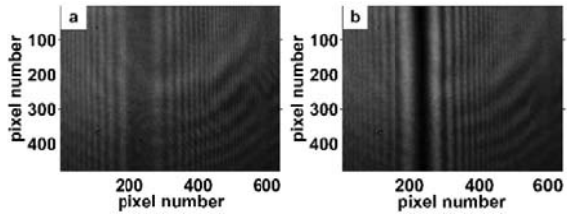
در انجام آزمایش مذکور دو تیغه‌ی شیشه‌ای با ضخامت‌های مختلف (شیشه ضخیم با ضخامت حدود یک میلی‌متر و شیشه نازک با ضخامت حدود دو دهم میلی‌متر) درون محلول آبی گلوکز قرار گرفته، سپس برای هر شیشه با افزایش تدریجی غلظت محلول، تصاویر طرح پراش مربوطه ثبت شده و مورد تحلیل قرار گرفتند. چند نمونه از تصاویر ثبت شده در شکل های ۲ تا ۴ آورده شده است.




شکل۲: طرح پراش در غلظت یکسان $0.299\ \frac{mg_{glucose}}{cc}$ برای a) شیشه نازک وb) شیشه ضخیم




شکل۳: طرح پراش برای شیشه نازک در دو غلظت متفاوت a) $22.525\ \frac{mg_{glucose}}{cc}$ وb) $11.661\ \frac{mg_{glucose}}{cc}$



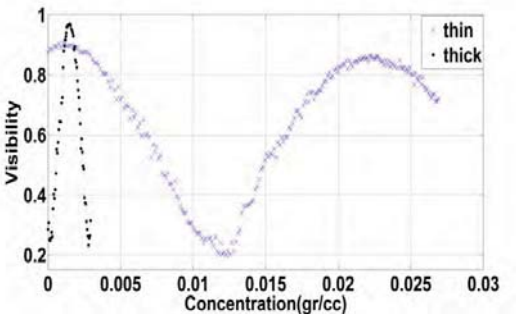

شکل۴: طرح پراش برای شیشه ضخیم در دو غلظت متفاوت a) $1.235\ \frac{mg_{glucose}}{cc}$ وb) $0.150\ \frac{mg_{glucose}}{cc}$

نمایانی برای سه نوار مرکزی طرح پراش با معادله (۵) محاسبه می شود.


این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

$$V=\frac{\frac{I_{R\max}+I_{L\max}}{2}-I_{C\min}}{\frac{I_{R\max}+I_{L\max}}{2}+I_{C\min}} \quad (۵)$$

$I_{C\min}$ شدت نوار تاریک مرکزی و $I_{R\max}$ و $I_{L\max}$ شدت نوارهای روشن سمت راست و چپ نوار تاریک مرکزی است. در شکل ۵ تغییرات نمایانی با افزایش غلظت محلول برای دو شیشه با ضخامت متفاوت، دیده می‌شود و تغییر دوره‌ای نمایانی با تغییر غلظت به خوبی قابل مشاهده است. همچنین بخش هایی از نمودار تقریباً خطی بوده و دوره تناوب نمایانی برای شیشه نازک بیشتر(حدود ۵ برابر)از دوره تناوب برای شیشه ضخیم می‌باشد. بنابراین گستره غلظت‌های قابل اندازه‌گیری با شیشه نازک بیشتر(حدود ۵ برابر)است. از سوی دیگر شیب تغییر نمایانی برای شیشه ضخیم تندتر و بنابراین حساسیت به تغییرات اندک غلظت زیادتر می‌باشد. در ناحیه خطی هر نمودار، با مدرج‌سازی تغییرات نمایانی برحسب غلظت، رابطه‌ای تجربی بین نمایانی و غلظت می‌توان استخراج کرد. بنابراین، از این روش می‌توان برای سنجش غلظت در گستره مورد نیاز بهره برد. همچنین با تغییر ضخامت یا ضریب شکست شیشه، توان تفکیک اندازه‌گیری و بازه غلظت‌های قابل سنجش را می توان تنظیم کرد.




شکل۵: تغییر دوره‌ای نمایانی برحسب غلظت برای دو شیشه نازک و ضخیم.

## نتیجه‌گیری

در این مقاله، کاربرد پراش نور لیزر از لبه یک جسم شفاف(شیشه) برای سنجش غلظت محلول بررسی شده است. تغییر نمایانی طرح پراش از لبه شیشه را می‌توان به عنوان معیاری از غلظت محلول اطراف شیشه در نظر گرفت. نشان داده‌ایم که با تغییر ضخامت یا ضریب شکست شیشه، می‌توان بازه‌ی غلظت‌های قابل اندازه‌گیری و توان تفکیک روش را تنظیم کرد. روش پیشنهادی ساده، ارزان و دارای دقت مناسب است.

## مرجع‌ها

**[1]** P. S. Jensen, J. Bak, "Near-Infrared Transmission Spectroscopy of Aqueous Solutions: Influence of Optical Path length on Signal-to-Noise Ratio", Appl. Spectrosc., Vol. 56, No. 12, pp. 1600-1606, 2002.

**[2]** B. H. Lee, et al, "Interferometric Fiber Optic Sensors", Sensors, Vol. 12, No. 3, pp. 2467-2486, 2012.

**[3]** F. Wang, et al, "Three-core fiber cascade asymmetric dual-taper robust structure for the simultaneous measurement of a mass concentration of a glucose solution and temperature", Opt. Comm., Vol. 461, p. 125227, 2020.

**[4]** H. Salvdari, M. T. Tavassoly, "Fresnel diffraction from the edge of a transparent plate in the general case", JOSA A, Vol. 35, No. 3, pp. 496-503, 2018.

**[5]** M. T. Tavassoly, A. Saber, "Optical refractometry based on Fresnel diffraction from a phase wedge", Opt. Lett., Vol. 35, No. 21, pp. 3679-3681, 2010.

**[6]** H. Hooshmand-Ziafi, M. Dashtdar, K. Hassani, "Measurement of the full complex degree of coherence using Fresnel diffraction from a phase discontinuity", Opt. Lett., Vol. 45, No. 13, pp. 3737-3740, 2020.

**[7]** M. Amiri, M. T. Tavassoly, "Fresnel diffraction from 1D and 2D phase steps in reflection and transmission modes", Opt. Comm., Vol. 272, No. 2, pp. 349-361, 2007.

**[8]** C. Y. Tan, Y.X. Huang, "Dependence of refractive index on concentration and temperature in electrolyte solution, polar solution, nonpolar solution, and protein solution", Journal. of Chem. & Eng. Data, Vol. 60, No. 10, pp. 2827-2833, 2015.


این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.