بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶و۱۵ بهمن ۱۳۹۸

قطبش‌سنجی گلوکز با استفاده از لیزر هلیوم نئون خطی

فرزانه صدیقی[۱]، طاهره محمدی[۱]، حسام قاسمی[۱]، خسرو معدنی‌پور[۱]، پرویز پروین*[۱]

Parvin@aut.ac.ir*

۱. دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده - دیابت یک بیماری مزمن متابولیک به شمار می‌رود که راه اصلی مراقبت از آن کنترل میزان سطح گلوکز خون می‌باشد. در واقع گلوکز به عنوان نوعی قند، منبع انرژی در عملکرد سلول‌ها بوده و تنظیم متابولیسم آن از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مقاله روش قطبش‌سنجی مبتنی بر اندازه‌گیری ویژگی‌های اپتیکی محلول گلوکز مورد تحلیل و آنالیز قرار گرفته است، به این منظور از یک لیزر هلیوم-نئون با طول موج ۶۳۲ نانومتر جهت قطبش‌سنجی به روش ربع موج چرخان برای استخراج ماتریس مولر نمونه و المان‌ها استفاده شده است. در نهایت مشخصات اپتیکی به دست آمده از این روش از قبیل قطبش، واقطبش، تاخیر(ریتاردنس) و اختلاف تضعیف برحسب غلظت‌های مختلف از طریق آنالیز ماتریس مولر حاصل شده‌است.

کلید واژه- گلوکز، اختلاف تضعیف، واقطبش، قطبش‌سنجی، ماتریس مولر.

Polarimetry of Glucose Using linear He-Ne Laser

Farzaneh Sedighi[1], Tahereh Mohammadi[1], Hesam Ghasemi[1], Khosro Madanipour[1], Parviz Parvin*[1]

Parvin@aut.ac.ir*

1. Physics and Energy Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

Abstract- Diabetes is a chronic metabolic disorder that requires careful monitoring of the blood glucose levels. Indeed, glucose, as a kind of sugar, is a source of energy in cell function regulating the metabolism. Here, the polarimetric method has been analyzed, based on measuring the optical properties of glucose solutions. For this purpose, a He-Ne laser with a wavelength of 632 nm is utilized in terms of polarimetry according **to** rotating quarter wave retarder to obtain the Mu**e**ller matrix elements. Finally, the optical properties such as polarizance, depolarization, retardance and diattenuation determined in various conditions by analyzing the Mu**e**ller matrices.

Keywords: Glucose, Diattenuation, Depolarization, Polarimetry, Mueller matrix.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-20]

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

مقدمه

دیابت یک بیماری مزمن متابلویک شایع است و کلید مراقبت از بیمار دیابتی کنترل قند خون یا گلوکز است. بالا بودن گلوکز خون به صورت طولانی مدت باعث آسیب عروقی می‌شود. در نتیجه خون‌رسانی به بافت‌ها مختل شده و احتمال آسیب‌هایی نظیر حمله‌ی قلبی، سکته‌ی مغزی، صدمات برگشت‌ناپذیر کلیوی، رتینوپاتی و کوری، ایسکمی و گانگرن اندام‌ها، نوروپاتی محیطی واختلال سیستم عصبی اتونوم بالا می‌رود[1]. پیش‌تر ژو روشی برای اندازه‌گیری چرخش نوری ناشی از مولکول‌های گلوکز موجود در محلول را با استفاده از روش قطبش‌سنجی بازتابی ارائه داده‌است. لی‌هان‌لی و همکارانش نیز روشی را مبتنی بر ماتریس آزمایشگاهی مولر برای شش نور فرودی با حالت‌های قطبیدگی متفاوت ارائه داده‌اند[2,3]. هدف ما در این مقاله بررسی مشخصات اپتیکی غلظت‌های مختلف محلول گلوکز از قبیل قطبیدگی(P)، واقطبش (Dep)، تاخیر (ریتاردنس) (Ret) و اختلاف‌تضعیف (Dia) با استفاده از روش قطبش-سنجی و با عبور نور لیزر هلیوم-نئون با طول موج ۶۳۲ نانومتر از محلول‌های گلوکز است.

نظریه

اندازه‌گیری قطبش، تکنیک قدرتمندی است که می‌تواند به بسیاری از تغییرات در ساختار ماده حساس باشد، از این رو قطبش‌سنجی و تشخیص ویژگی‌های اپتیکی نمونه، حائز اهمیت می‌باشد. هرگونه تغییر در ساختار نمونه می‌تواند بر ویژگی‌های نور پراکنده شده مانند قطبش نور، طیف پراکندگی و سایر ویژگی‌های اپتیکی آن اثر گذارد. تاکنون دو نوع روش فرمول‌بندی جونز و ماتریس‌مولر برای مطالعه مسائل قطبش در اپتیک ارائه شده‌اند. اما ماتریس مولر به دلیل دارا بودن اطلاعاتی از پارامترهای حقیقی و پدیده پراکندگی در محاسبات آزمایشگاهی مفیدتر می‌باشد. در واقع، ماتریس مولر قطبش نور را بررسی کرده و اطلاعات کاملی از نمونه نظیر قطبیدگی، واقطبش، تاخیر، اختلاف تضعیف را به‌دست می‌دهد که با تصویربرداری معمولی، دست نیافتنی است. ماتریس مولر یک سیستم اپتیکی با استفاده از روش تجزیه قطبی به سه زیر ماتریس کوچکتر، به نام ماتریس تاخیر (M_R)، ماتریس اختلاف تضعیف (M_D) و ماتریس واقطبش (M_Δ) به صورت معادله (۱) تجزیه می-گردد.

$$M = M_\Delta M_R M_D \qquad (۱)$$

به منظور تعیین ماتریس واقطبش معادله (۲) به‌کار برده می‌شود.

$$Dp = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{ij} m_{ij}^2 - m_{11}^2}}{m_{11}\sqrt{3}} \qquad (۲)$$

که مولفه‌های m_{ij} درایه‌های ماتریس مولر می‌باشند. بردار اختلاف تضعیف نیز طبق معادله (۳) با سه درایه‌ی اول ماتریس مولر بیان می‌شود. m_{12} اختلاف تضعیف خطی در راستای محورهای افقی و عمودی و m_{13} اختلاف تضعیف خطی در راستای ± 45 درجه، و m_{14} اختلاف تضعیف دایروی را بیان می‌کند.

$$D = \frac{\sqrt{m_{12}^2 + m_{13}^2 + m_{14}^2}}{m_{11}} \qquad (۳)$$

اختلاف تضعیف به درایه‌های اول ماتریس مولر بستگی دارد، که بیانگر اختلاف تضعیف برای حالت‌های قطبش‌خطی و دایروی است. مطابق رابطه ۴ ماتریس تاخیر (ریتاردنس) کل از فرآیند تجزیه‌ی ماتریس مولر، ترکیبی از ماتریس‌هایی برای تاخیر خطی (ریتاردنس خطی) δ و تاخیر دایروی (ریتاردنس دایروی) ψ معادله‌های (۶) و (۵) است. که $Tr(M_R)$ جمع مولفه‌های قطر اصلی ماتریس تاخیر است.

$$R = \cos^{-1}\left[\frac{Tr(M_R)}{2} - 1\right] \qquad (۴)$$

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-20]

$$\delta = \cos^{-1}\left(\sqrt{\left(M_R(2,2)+M_R(3,3)\right)^2+\left(M_R(3,2)+M_R(2,3)\right)^2}-1\right) \quad (۵)$$

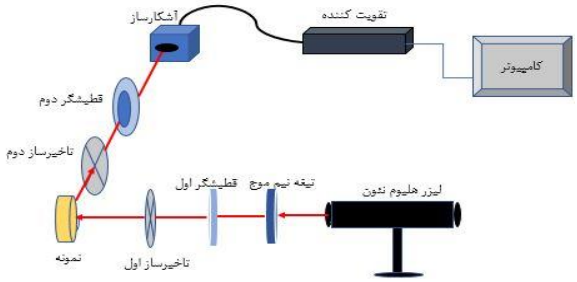
$$\psi = \tan^{-1}\frac{M_R(3,2)+M_R(2,3)}{M_R(2,2)+M_R(3,3)} \quad (۶)$$

و در نهایت قطبش حاصل از تغییر نور تقریبا ناقطبیده به نور قطبیده را میزان قطبی‌شدگی یا درجه‌ی قطبش می‌نامند و با رابطه (۷) به‌دست می‌آید[4].

$$P = \frac{1}{m_{00}}\sqrt{m_{21}^2+m_{31}^2+m_{41}^2} \quad (۷)$$

تعیین مولفه‌های ماتریس مولر به روش ربع موج چرخان

در این روش، لیزر هلیوم نئون۶۳۲ نانومتر با توان ۵ میلی وات از یک قطبشگر خطی قائم برای اصلاح خطای ناشی از قطبیدگی نور منبع گذارانده شده و در امتداد آن یک تیغه نیم موج پلیمری به منظور تنظیم شدت نور لیزر و جلوگیری از اشباع آشکارساز، در مسیر اپتیکی قرار داده شده است. در ادامه یک قطبشگر خطی سیلیکونی برای تعیین قطبش نور فرودی، یک تیغه ربع موج پلیمری و سپس گلوکز استاندارد (شرکت من) حل شده در آب مقطر در یک سلول مکعب مستطیل شیشه‌ای (کوت شیشه‌ای) شفاف با ابعاد (۴×۱×۱) بر روی پایه قرار گرفته شده‌است. سپس نور حاصل از برهمکنش با محلول گلوکز به صورت عبوری در شاخه‌ی آنالیزور بررسی شده‌است. شاخه‌ی آنالیزور شامل یک تیغه‌ی ربع موج پلیمری است که بر روی یک موتور پله‌ای سوار شده است و سایز گام آن ۱٫۸ درجه و وضوح حرکت آن ۰٫۰۴ می‌باشد. این موتور با استفاده از نرم افزار سی‌شارپ کنترل می‌شود. سپس قطبشگر خطی سیلیکونی دوم که هر گونه خطای مربوط به حساسیت قطبشی آشکارساز را حذف می‌کند، قرار داده شده و در نهایت یک آشکارساز (Si Free-Space Amplified Photodetectors) برای ثبت داده‌ها قرار گرفته‌است. شکل ۱ شماتیکی از چیدمان اندازه‌گیری ماتریس مولر را نشان می‌دهد.



شکل ۱: چیدمان اندازه‌گیری ماتریس مولر.

محور دو قطبشگر در شاخه‌ی تابش و آنالیزور متعامدند. تاخیرساز اول در ۸ گام ۲۲٫۵ درجه تا ۱۵۷٫۵ درجه به صورت دستی تغییر داده می‌شود. در هر گام تاخیرساز اول، تاخیرساز دوم در شاخه‌ی آنالیزور توسط موتور پله‌ای یک دور کامل می‌زند و در هر گام تاخیرساز اول، سیگنالی به طول ۲۰۴ ناشی از چرخش تاخیرساز دوم ثبت می‌شود، برای اندازه‌گیری ماتریس مولر، در ۸ گام تاخیرساز اول، در کل سیگنالی به طول موج ۶۳۲ ثبت می‌شود. ضرب ماتریسی این چیدمان آزمایشگاهی به صورت معادله (۸) حاصل گردیده‌است. M_{p1} ماتریس قطبشگر اول، M_{R1} ماتریس تاخیرساز اول، M_{p2} ماتریس قطبشگر دوم و M_{R2} ماتریس تاخیرساز دوم است.

$$\left[M_{p2}\right]\left[M_{R2}\right]\left[M\right]\left[M_{R1}\right]\left[M_{p1}\right]s_{in} = s_{out} \quad (۸)$$

که ماتریس مولر نمونه به صورت معادله (۹) می‌باشد:

$$M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{pmatrix} \quad (۹)$$

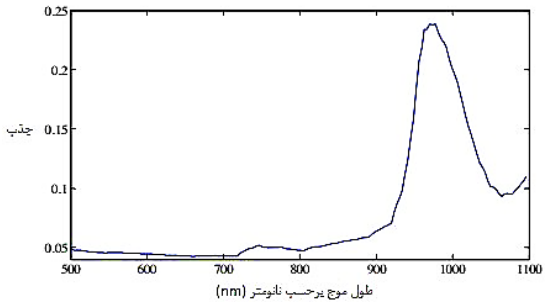
ماتریس مولر بردار استوکس نور تابشی به نمونه را S_{in} به بردار استوکس نور خارج شده از نمونه S_{out} مرتبط می‌کند[4].

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-20]

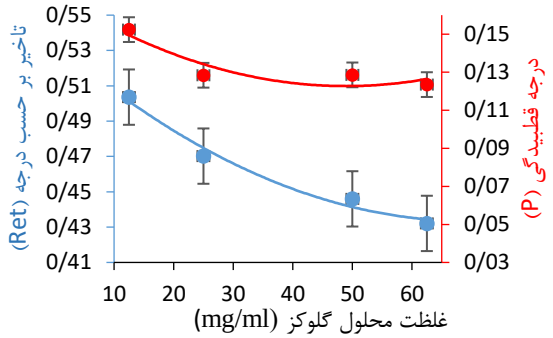
تحلیل نتایج

با توجه به نمودار شکل ۲ که نمایانگر جذب محلول گلوکز برحسب طول موج است، میزان جذب گلوکز در طول موج ۶۳۲ نانومتر کم بوده و در نتیجه از این طول موج برای قطبش‌سنجی استفاده شده‌است.



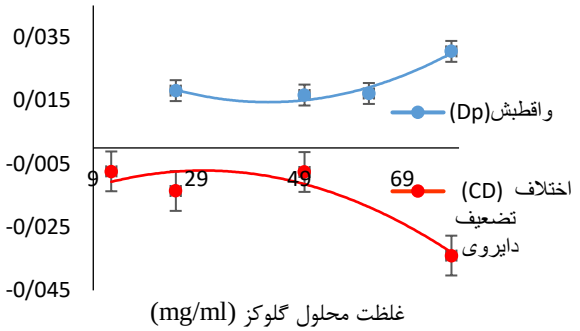
شکل۲: نمودار طیف جذبی محلول گلوکز برحسب طول موج.

مطابق شکل ۳ درجه قطبیدگی با افزایش غلظت گلوکز کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت، پارامتر تاخیر رفتار کاهشی از خود نشان می‌دهد. به این معنی که میزان دو شکستی با افزایش غلظت گلوگز کاهش پیدا می‌کند.



شکل۳: تغییرات درجه قطبیدگی و تاخیر برحسب تغییرات غلظت محلول گلوکز.

طبق شکل ۴ نیز با افزایش غلظت، پراکندگی چندگانه از مولکول‌ها بیشتر رخ می‌دهد که این امر سبب از دست رفتن قطبش نور شده‌است. اختلاف تضعیف دایره‌ای (CD) نیز از پارامترهای دست‌سانی (کایرالیتی) در ملکول می‌باشد که بیانگر اختلاف در جذب دو نور قطبیده شده دایروی چپ‌گرد و راست‌گرد است. در شکل ۴ اختلاف تضعیف با افزایش غلظت گلوکز روند نزولی داشته و مقدار منفی آن به دلیل چپ‌گرد بودن جهت چرخش صفحه قطبشگر است.



شکل۴: تغییرات واقطبش و اختلاف تضعیف دایروی برحسب تغییرات غلظت محلول گلوکز.

نتیجه‌گیری

طبق نتایج ارائه شده در این مقاله، از آنجایی که مولکول‌های گلوکز قویا در آب تشکیل پلیمر می‌دهند لذا با افزایش غلظت، فراوانی مولکول‌های گلوکز محلول به‌طور نسبی کاهش یافته، در نتیجه میزان دوشکستی که با اختلاف ضریب شکست عادی و غیرعادی متناسب است، نیز کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، در افزایش غلظت، نرخ پلیمریزاسیون گلوکز بالا رفته و این امر سبب کاهش تاخیر و افزایش واقطبش می‌گردد. نهایتا، میزان غلظت گلوکز در خون کمتر از میزان غلظت گلوکزی است که بررسی شده‌است. در نتیجه به‌راحتی می‌توان از این پژوهش برای اندازه‌گیری غلظت گلوکز موجود در خون نیز استفاده کرد.

مرجع‌ها

[1] John E. Hall, "*Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*", Saunders Elsevier, p. 388-391, 12th ed, 1961.

[2] Li-Han Lin, Yu-Lung Lo, Chia-Chi Liao, Jian-Xiang Lin, "Optical detection of glucose concentration in samples with scattering particles", Applied Optics, Vol. 54, pp. 10425-10431, 2015.

[3] G. X. Zhou, J. M. Schmitt, C. E. Ellicott, "Sensitive detection of optical rotation in liquids by reflection polarimetry," American Institute of Physics, v.64, p.2801–2807, 1993.

[4] Ghosh, N., M.F. Wood, I.A. Vitkin, "Mueller matrix decomposition for extraction of individual polarization parameters from complex turbid media exhibiting multiple scattering, optical activity, and linear birefringence", Journal of Biomedical Optics 13(4), 044036,1 July 2008.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-20]