



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



قطبش سنجی گلوکز با استفاده از لیزر هلیوم نئون خطی

فرزانه صدیقی^۱، طاهره محمدی^۱، حسام قاسمی^۱، خسرو معدنی پور^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 می رود که راه اصلی مراقبت از آن کنترل میزان سطح گلوکز خون می باشد. در واقع گلوکز به عنوان نوعی قند، منبع انرژی در عملکرد سلول ها بوده و تنظیم متابولیسم آن از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مقاله روش قطبش سنجی مبتنی بر اندازه گیری ویژگی های اپتیکی محلول گلوکز مورد تحلیل و آنالیز قرار گرفته است، به این منظور از یک لیزر هلیوم-نئون با طول موج ۶۳۲ نانومتر جهت قطبش سنجی به روش ربع موج چرخان برای استخراج ماتریس مولر نمونه و المان ها استفاده شده است. در نهایت مشخصات اپتیکی به دست آمده از این روش از قبیل قطبش، واقطبش، تاخیر (ریترادنس) و اختلاف تضعیف بر حسب غلظت های مختلف از طریق آنالیز ماتریس مولر حاصل شده است.

کلید واژه- گلوکز، اختلاف تضعیف، واقطبش، قطبش سنجی، ماتریس مولر.

Polarimetry of Glucose Using linear He-Ne Laser

Farzaneh Sedighi¹, Tahereh Mohammadi¹, Hesam Ghasemi¹, Khosro Madanipour¹, 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 Mueller matrix elements. Finally, the optical properties such as polarizance, depolarization, retardance and diattenuation determined in various conditions by analyzing the Mueller matrices.

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

مقدمه

دیابت یک بیماری مزمن متابولیک 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 حمله قلبی، سکته مغزی، صدمات برگشت‌ناپذیر کلیوی، رتینوپاتی و کوری، ایسکمی و گانگرن اندام‌ها، نوروپاتی محیطی و اختلال 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 می‌گردد.

$$M = M_\Delta M_R M_D \quad (1)$$

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

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

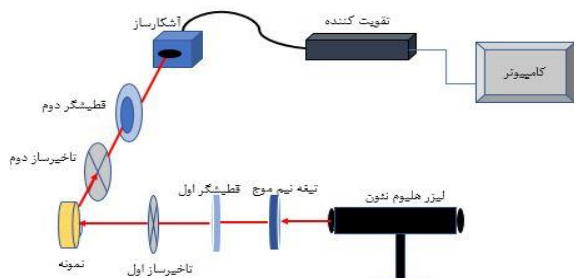
که مولفه‌های m_{ij} درایه‌های ماتریس مولر می‌باشند. بردار اختلاف تضعیف نیز طبق معادله (۳) با سه درایه‌ی اول ماتریس مولر بیان می‌شود. m_{12} اختلاف تضعیف خطی در راستای محورهای افقی و عمودی و m_{13} اختلاف تضعیف خطی در راستای $\pm 45^\circ$ درجه، و m_{14} اختلاف تضعیف دایروی را بیان می‌کند.

$$D = \frac{\sqrt{m_{12}^2 + m_{13}^2 + m_{14}^2}}{m_{11}} \quad (3)$$

اختلاف تضعیف به درایه‌های اول ماتریس مولر بستگی دارد، که بیانگر اختلاف تضعیف برای حالت‌های قطبش خطی 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.

$$R = \cos^{-1} \left[\frac{Tr(M_R)}{2} - 1 \right] \quad (4)$$

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 متعامند. 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.

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

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].

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

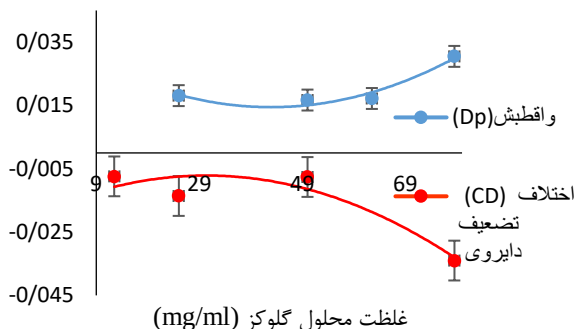
$$\psi = \tan^{-1} \frac{M_R(3,2) + M_R(2,3)}{M_R(2,2) + M_R(3,3)} \quad (۶)$$

و در نهایت قطبش حاصل از تغییر نور تقریباً 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 نئون ۶۳۲ نانومتر با توان ۵ میلی‌وات از یک قطبشگر خطی قائم برای اصلاح خطای ناشی از قطبیدگی نور منبع گذارنده 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 (۱×۱×۴) 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 تیغه ربع موج پلیمری است که بر روی یک موتور پله‌ای سوار شده است و سائز گام آن ۱,۸ درجه و وضوح حرکت آن ۰,۰۴ می‌باشد. این موتور با استفاده از نرم افزار سی شارپ 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



شکل ۴: تغییرات واقطبش و اختلاف تضعیف دایروی برحسب تغییرات غلظت محلول گلوکز.

نتیجه گیری

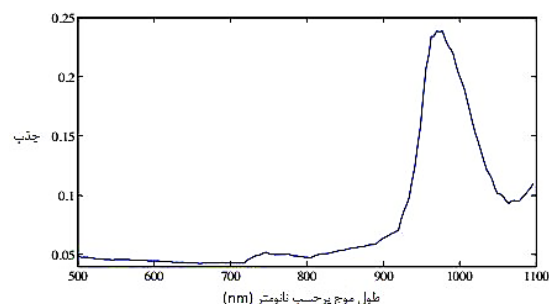
طبق نتایج ارائه شده در این مقاله، از آنجایی که مولکول‌های گلوکز قویا در آب تشکیل پلیمر می‌دهند لذا با افزایش غلظت، فراوانی مولکول‌های گلوکز محلول به‌طور نسبی کاهش یافته، در نتیجه میزان دوشکستی که با اختلاف ضریب شکست عادی و غیرعادی متناسب است، نیز کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، در افزایش غلظت، نرخ پلیمریزاسیون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

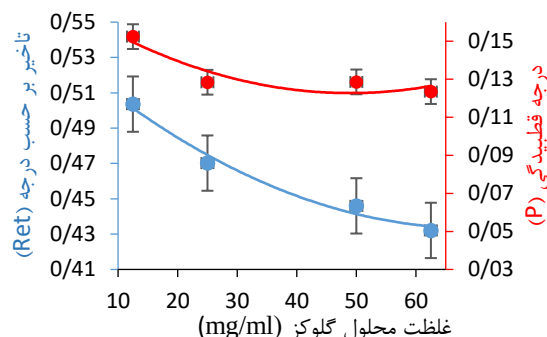
تحلیل نتایج

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 شده است.



شکل ۲: 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 دوشکستی با افزایش غلظت گلوکز کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۳: 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 شده است. اختلاف تضعیف دایره‌ای (CD) نیز از پارامترهای دست‌سازنی (کایرالیته) 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.