بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

مطالعه رفتار اپتیکی غیرخطی روغن‌های خوراکی هسته انار و زیتون در رژیم حرارتی

امیر نامق حسن[۱] ، محمد علی حداد[۱،۲]، مریم افشار[۱]، و معین گلستانی فر[۱]

[۱] دانشکده فیزیک دانشگاه یزد، صفائیه، بلوار دانشگاه، یزد، صندوق پستی:۷۴۱-۸۹۱۹۵
[۲] گروه پژوهشی فوتونیک، آزمایشگاه تحقیقاتی بینابنگاری لیزری، دانشگاه یزد، صفائیه، بلوار دانشگاه، یزد، صندوق پستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵

amir.hassan@stu.yazd.ac.ir, mahaddad@yazd.ac.ir, maryamafshar@stu.yazd.ac.ir, m.golestanifar@stu.yazd.ac.ir

چکیده - از آنجا که روغن‌های اورگانیک گیاهی به دلیل خواصی که دارند رواج زیادی بین مردم یافته‌اند بررسی آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین اصالت‌سنجی این نوع از مواد به دلیل استفاده زیاد لازم است مورد توجه قرارگیرد. بررسی پارامترهای اپتیکی غیرخطی مواد امروزه به عنوان یکی از روش‌های اصالت‌سنجی مواد غذایی مورد توجه قرارگرفته است. در این پژوهش در امکان‌سنجی اولیه، خواص غیرخطی روغن‌های هسته انار و زیتون مورد بررسی قرارگرفته شده است. با بهره‌گیری از روش جاروب محوری، ضریب شکست غیرخطی این دو نوع روغن با استفاده از لیزر پیوسته نئودیم-یاگ ۵۳۲ نانومتر در مرتبه $10^{-8}\ cm^2/W$ محاسبه شده است.

کلید واژه- اپتیک غیرخطی، روش جاروب محوری، روغن زیتون، روغن هسته انار، ضریب شکست غیرخطی

Study of Nonlinear Optical Properties of Edible Pomegranate Kernel and Olive Oils in Thermal Regime

Amir Namiq Hassan[1], Mohammad Ali Haddad[1,2], Maryam Afshar[1], and Moien Golestanifar[1]

[1] Department of Physics, Yazd University, Yazd, Iran, PO Box 89195-741
[2] Photonic Research Group, Laser Spectroscopy Research Laboratory, Yazd University, Yazd, Iran, PO Box 89195-741

amir.hassan@stu.yazd.ac.ir, mahaddad@yazd.ac.ir, maryamafshar@stu.yazd.ac.ir, m.golestanifar@stu.yazd.ac.ir

Abstract- Organic vegetable oils have become very popular among the people due to their properties; their study is of special importance. Also, the authentication of this type of materials due to its high use need to be considered considerably. Nowadays, Investigation of nonlinear optical parameters of materials is considered as one of the methods of food authentication. In this research, in the initial feasibility study, the nonlinear properties of pomegranate kernel and olive oils have been investigated. Using Z-scan method, the nonlinear refractive index of these two types of edible oils was measured in the order of $10^{-8}\ cm^2/W$ by using a continuous Nd: YAG laser of 532 nm.

Keywords: Nonlinear optics, Z-scan method, Olive oil, Pomegranate kernel oil, Nonlinear refractive index

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

مقدمه

در صنعت اپتیک، موادی که دارای خواص نوری غیرخطی هستند کاربردهای زیادی نظیر محافظت از حسگرها، سوئیچ‌های نوری و محدودکننده‌های نوری و ... دارند[۱]. بنابراین، محققان مطالعات گسترده‌ای در مورد خواص اپتیک غیرخطی مواد مختلف انجام داده‌اند. اپتیک غیرخطی شاخه‌ای از اپتیک است که برهمکنش غیرخطی نور و مواد (با خاصیت غیرخطی اپتیکی) را مطالعه می‌کند[۲]. برای اولین بار پدیده‌ی اپتیک غیرخطی توسط فرانکین و همکارانش در سال ۱۹۶۱ میلادی به‌صورت تجربی به عنوان تولید هارمونیک دوم کشف شد[۳].

در سال‌های اخیر فعالیت‌های پژوهشی زیادی بر روی مواد با خاصیت غیرخطی انجام شده است. یکی از کاربردهای اصلی که می‌تواند برای بررسی اپتیک غیرخطی این نوع روغن‌ها گیاهی بیان کرد بررسی اصالت ماده مورد آزمایش از جهت خالص بودن است[۴]. روغن‌های گیاهی عموما غیرسمی و غیرقطبی هستند، در آب حل نمی‌شوند و در همه‌جا به‌صورت مایع و ارزان در دسترس هستند. آنها به‌طور گسترده در صابون‌ها، محصولات پوستی، عطرها و در داروها به عنوان وسیله‌ای برای کاهش خطر بیماری‌های قلبی و غیره استفاده می‌شوند[۵]. در اپتیک غیرخطی محاسبه برخی از پارامترها نظیر ضریب شکست غیرخطی حائز اهمیت است. برای اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی چندین روش وجود دارد که روش جاروب محوری روشی بسیار ساده و در عین حال حساس است. شیخ بهایی و همکاران در سال ۱۹۸۹ این روش را معرفی کردند[۶].

در این پژوهش، به منظور استفاده از خواص رفتار غیرخطی مواد غذایی در اصالت‌سنجی آنها، برای نخستین بار رفتار اپتیکی غیرخطی روغن هسته انار و زیتون به‌صورت تجربی از طریق تکنیک جاروب محوری با استفاده از نور لیزر مرئی پیوسته با طول موج ۵۳۲ نانومتر در توان‌های مختلف مطالعه شده است. نتایج نشان می‌دهد که روغن‌های بررسی شده رفتار اپتیکی غیرخطی بسیار محسوسی ناشی از اثرات گرمایی از خود نشان می‌دهند.

آماده‌سازی مواد

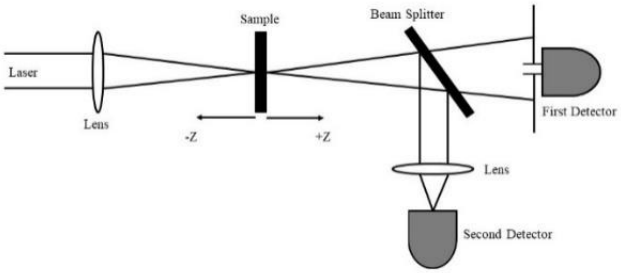
در این پژوهش، روغن هسته انار و روغن زیتون خالص شکل(۱)، از شرکت عصاره تهیه شده است. این مواد برای بررسی داخل سلول اپتیکی تمیز به قطر ۱ میلی‌متر تزریق شده و سپس در آرایه اپتیکی در معرض نور لیزر قرار داده شده‌است. همچنین، غلظتی که روی آن آزمایش صورت‌گرفته دقیقا برابر غلظتی بوده که روغن در کارخانه تولید شده‌است و از هیچ‌گونه مواد رقیق‌کننده‌ای استفاده نشده است.



شکل ۱: تصویر روغن‌های هسته انار و زیتون

روش آزمایشگاهی

تکنیک جاروب‌محوری تکنیک ساده و دقیق است که برای محاسبه ضریب جذب غیرخطی و ضریب شکست غیرخطی، که به ترتیب از چیدمان روزنه باز (open aperture) و روزنه



شکل ۲: طرح شماتیک از چیدمان آزمایشگاهی جاروب محوری

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

بسته (closed aperture) استفاده می‌شود کاربرد دارد. آرایه اپتیکی که برای این پژوهش به کار گرفته شده‌است در شکل(۲) نشان داده شده‌است. در این آزمایش برای اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی (n_2) در روش روزنه بسته از نور لیزر با طول موج ۵۳۲ نانومتر در سه توان ۹۵، ۷۵ و ۵۵ میلی‌وات و عدسی با فاصله کانونی ۵ سانتی‌متر استفاده شده‌است که نور لیزر توسط عدسی متمرکز می‌شود و نمونه در راستای محور در مجاورت کانون توسط یک جابجاگر جابجا می‌شود. همزمان با جابجایی ماده تمام توان عبوری از نمونه توسط آشکارساز ثبت می‌شود. با توجه به رفتار اپتیک غیرخطی نمونه، نمونه بر پایه اثر گرمایی، مانند یک لنز عمل می‌کند که باعث تغییر شدت پرتو لیزر بر روی آشکارساز می‌شود. با ثبت تغییر شدت (تراگسیلندگی) و ترسیم نموداری از تغییرات شدت بهنجارشده برحسب جابجایی نمونه در راستای z می‌توان اندازه و علامت ضریب شکست غیرخطی نمونه را با استفاده از رابطه (۲) محاسبه کرد[۶].

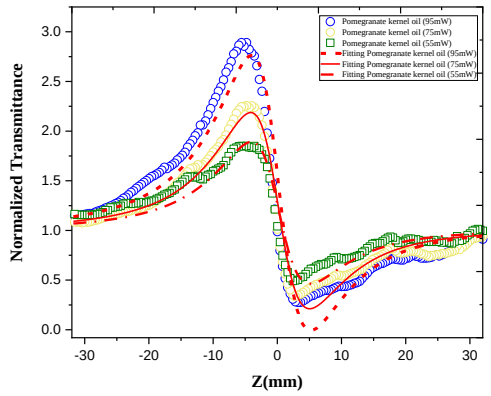
$$\Delta T_{p-v} \simeq 0.406(1-S)^{0.25}|\Delta\phi_0| \qquad (۱)$$

$$n_2 = \frac{\lambda\Delta\phi_0}{2\pi I_0 L_{eff}} \qquad (۲)$$

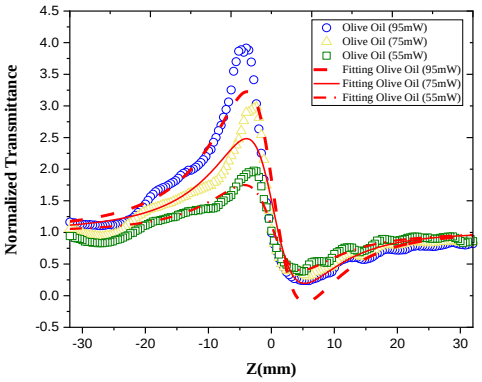
که ΔT_{p-v} فاصله بین قله و دره در نمودار عبوری بهنجارشده است و $S = 1 - exp\,(-2r_a^2/w_a^2)$ انتقال خطی از شکاف، w_a شعاع پرتو در شکاف و r_a شعاع شکاف هستند. λ طول موج نور لیزر و $\Delta\phi_0$ تغییر فاز ناشی از شکست غیرخطی در نقطه کانون است.

$I_0 = 2P_{in}/(\pi w_0^2)$ شدت نور در نقطه کانونی و P_{in} توان ورودی لیزر و w_0 کمر پرتوی لیزر در نقطه کانون هستند.

L_{eff} طول موثر نمونه است که می‌توان با استفاده از رابطه $L_{eff} = (1 - e^{-\alpha L})/\alpha$ محاسبه کرد.که L طول نمونه و α ضریب جذب خطی نمونه است که در توان‌های پایین با استفاده از رابطه $\alpha = -\frac{1}{L} ln(P/P_0)$ محاسبه می‌شود.



شکل ۳: نمودار تراگسیلندگی روزنه بسته نمونه هسته انار



شکل ۴: نمودار تراگسیلندگی روزنه بسته نمونه زیتون

که P توان خروجی لیزر با وجود نمونه و P_0 توان خروجی بدون نمونه است. با انجام محاسبات بالا، ضریب جذب خطی (α) برای روغن هسته انار و زیتون به ترتیب (۱/۷۶۸۲ cm^{-1}) و (۲/۳۴۱۷ cm^{-1}) بدست آمد و L_{eff} برای هر یک از روغن‌های هسته انار و زیتون به ترتیب (۰/۰۹۱۶ cm) و (۰/۰۸۹۱ cm) محاسبه شد. با استفاده از معادلات بالا و اطلاعات حاصل از نمودارها مقدار ضریب شکست غیرخطی (n_2) برای نمونه هسته انار و زیتون طبق جدول (۲) محاسبه شده‌است. از سوی دیگر همچنین، با استفاده از رابطه‌ی (۳) و با برازش‌کردن این رابطه با داده‌های تجربی[۶]، میتوان $\Delta\phi_0$ را محاسبه کرد. سپس با استفاده از معادله (۲) ضریب شکست غیرخطی (n_2) (بر اساس برازش) محاسبه می‌شود.

$$T = 1 - \frac{4x}{(x^2+9)(x^2+1)}\Delta\phi_0 \qquad (۳)$$

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

که در آن $x = z/z_0$ است. $z_0=kw_0^2/2$ طولی رایلی، و $k = 2\pi/\lambda$ بردار موج هستند.

نتایج و بحث

با انجام محاسبات فوق و اندازه‌گیری‌های تجربی، در شکل (۳) برای روغن هسته انار و شکل (۴) برای روغن زیتون و نمودار تراگسیلندگی بهنجار شده برای روغن‌ها با سه توان ۹۵ ، ۷۵ و ۵۵ میلی‌وات رسم شده‌است.

در جدول(۱) مقادیر محاسبه‌شده ΔT_{p-v} گزارش شده‌است که با استفاده از این مقادیر ضریب‌شکست غیرخطی (n_2) به‌صورت تئوری برحسب رابطه (۱) و به‌صورت تجربی برحسب رابطه (۳) به دست آمده است.

جدول ۱: تعیین مشخصات اپتیک غیرخطی نمونه‌ها

نمونه	توان فرودی (mW)	ΔT_{p-v}	$-n_2 \times ۱۰^{-۸}$ (cm^2/W) (تئوری)	$-n_2 \times ۱۰^{-۸}$ (cm^2/W) (تجربی)
هسته انار	۹۵	۲/۶۴۹۵	۹/۲۵	۹/۲۶۵
	۷۵	۱/۹۵۰۹	۸/۶۲۸	۸/۴۲
	۵۵	۱/۳۷۹۸	۸/۳۲۱	۸/۲۷۲
زیتون	۹۵	۳/۷۳۷۷	۱۳/۴۱۲	۱۱/۳۹
	۷۵	۲/۷۱۳۸	۱۲/۳۳۵	۹/۹۵۳
	۵۵	۱/۶۳۶۹	۱۰/۱۴	۸/۰۷۵

در این مقاله بر اساس تکنیک جاروب محوری (Z-scan)، ضریب شکست غیرخطی (n_2) برای روغن‌های گیاهی هسته انار و زیتون برای نخستین بار با استفاده از نور لیزری مرئی با طول موج ۵۳۲ نانومتر در توان‌های ۹۵، ۷۵ و ۵۵ میلی‌وات تعیین شدند. نتایج نشان می‌دهد که روغن‌های مذکور بر پایه اثر گرمایی، رفتار اپتیکی غیرخطی بسیار محسوسی از خود نشان می‌دهند، که با در نظر گرفتن اندازه‌گیری‌های انجام‌شده می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش شدت نور فرودی میزان ضریب شکست غیرخطی افزایش می‌یابد، همچنین ضریب شکست غیرخطی روغن‌های هسته انار و زیتون منفی است، که اثر خود واکانونی نمونه‌ها در آزمایش را نشان می‌دهد. از دیگر نتایج این تحقیق می‌توان اشاره به این موضوع داشت که اصالت‌سنجی این مواد بر مبنای خواص اپتیک غیرخطی ممکن است مورد توجه و پژوهش قرارگیرد.

مرجع‌ها

[1] Tutt, L.W. and T.F. Boggess, A review of optical limiting mechanisms and devices using organics, fullerenes, semiconductors and other materials. Progress in Quantum Electronics, 1993. 17(4): p. 299-338.

[2] Zheltikov, A., A. L'Huillier, and F. Krausz, Nonlinear Optics, in Springer Handbook of Lasers and Optics, F. Träger, Editor. 2012, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 161-251.

[3] Boyd, R.W., *Chapter 1 - The Nonlinear Optical Susceptibility, in Nonlinear Optics (Third Edition)*, R.W. Boyd, Editor. 2008, Academic Press: Burlington. p. 1-67.

[4] Ribeiro, M.S., R.F. Turchiello, and S.L. Gómez, Employment of Laser Beam Self-Phase Modulation for Detecting Adulterations in Light-Absorbing Commercial Fluids. Food Analytical Methods, 2019. 12(4): p. 908-913.

[5] Hassan, Q., et al., Diffraction ring patterns and z-scan measurements of nonlinear refractive index of khoba vegetable oil. 2018.

[6] Sheik-Bahae, M., et al., Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1990. 26(4): p. 760-769.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]