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

بررسی ضریب شکست غیرخطی روغن‌های گیاهی گردو، رزماری و ذرت با استفاده از تکنیک جاروب محوری

مریم افشار[۱]، محمدعلی حداد[۱]، المیرا مشتعل[۲]، مهرنوش عبادی[۲]

[۱]دانشکده فیزیک دانشگاه یزد، صفائیه، بلوار دانشگاه، یزد

[۲] ساختمان فنی مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی یزد، صفائیه، بلوار شهدای گمنام، یزد

maryamafshar@stu.yazd.ac.ir, mahaddad@yazd.ac.ir, elmiramoshtael@gmail.com, mehrnooshebadi76@gmail.com

چکیده – روغن‌های گیاهی به علت کاربردهای فراوان در زندگی روزمره همواره مورد توجه قرار گرفته‌اند. به این دلیل ا صالت سنجی این گروه از روغن‌ها بسیار حائز اهمیت است. امروزه بررسی مواد غذایی بر پایه رفتار اپتیکی غیرخطی آنها به عنوان روشی جدید در اصالت سنجی موادغذایی به حساب می‌آید. در این مقاله، رفتار اپتیکی غیرخطی روغن‌های گیاهی گردو، رزماری و ذرت در رژیم گرمایی، با استفاده از روش جاروب محوری با بهره گیری از لیزر پیوسته با طول موج تابشی ۵۳۲ nm برای نخستین بار بررسی شده است و مقادیر ضریب شکست غیرخطی نمونه‌های با مرتبه‌ای در حدود 10^{-8} cm^2/W گزارش می‌شوند.

کلید واژه- جاروب محوری، خواص اپتیکی غیرخطی، روغن ذرت، روغن رزماری، روغن گردو، ضریب شکست غیرخطی

Evaluation of nonlinear refractive index of walnut, rosemary and corn vegetable oils using z-scan technique

Afshar, Maryam[1]; Haddad, Mohammad Ali[1,2]; Moshtael, Elmira[2]; Ebadi, Mehrnoosh[2]

[1] Department of Physics, Yazd University, Yazd, Iran
[2] Department of Engineering, Islamic Azad University of Yazd, Yazd, Iran
maryamafshar@stu.yazd.ac.ir, mahaddad@yazd.ac.ir, elmiramoshtael@gmail.com, mehrnooshebadi76@gmail.com

Abstract- Vegetable oils have always been considered due to their wide variety of uses in daily life. As a result, the authenticity of this group of oils is important. Food authentication based on nonlinear optical characteristics is now considered as a new approach of determining food authenticity. In this study, as a first step, the nonlinear optical properties of walnut, rosemary, and corn vegetable oils are studied in the thermal regime using the Z-scan method and CW laser at 532 nm. The sample's nonlinear refractive index values are measured to be in the range of 10^{-8} cm^2/W.

Keywords: Corn oil, Nonlinear optical properties, Nonlinear refractive index, Rosemary oil, Walnut oil, Z-Scan

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

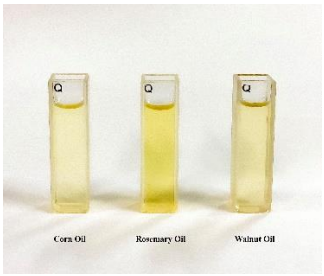
مقدمه

روغن گیاهی یکی از مواد حائز اهمیت در زندگی روزمره است. روغن‌های گیاهی نظیر گردو، رزماری و ذرت نیز سرشار از خواص متفاوتی از جمله امگا ۳، ویتامین‌ها و مواد معدنی نظیر ویتامین E هستند که برای مراقبت از پوست و مو، جلوگیری از ریزش مو، بیماری‌های قلبی و درمان بیماری‌های پوستی بسیار مفید هستند. این روغن‌ها در طب سنتی نیز مورد توجه‌اند. استفاده از روغن‌های گیاهی به عنوان مواد خام تجدیدپذیر برای سنتز مونومرهای مختلف و موادپلیمری مورد بررسی قرار می‌گیرند[۱]. طبق پژوهش‌ها این فرآورده‌ها ۹۰ درصد به صورت تقلبی یافت می‌شوند. به همین دلیل اصالت سنجی روغن‌های گیاهی یکی از شاخصه‌های مهم و اساسی است. اخیراً گزارش‌های منتشر شده حاکی از این است که شاخص‌های اپتیک غیرخطی مواد در اصالت سنجی مواد غذایی می‌توانند مورد توجه و بررسی قرار گیرند[۲]. خواص اپتیکی غیرخطی مواد بسیار مهم است و می‌توان با تجزیه و تحلیل شکست و جذب غیرخطی درصد خلوص و اصالت روغن‌ها را تعیین کرد[۳].

روش جاروب‌محوری روشی ساده و در عین حال حساس برای تعیین خواص اپتیکی غیرخطی است. در این مقاله با استفاده از این روش، شاخص اپتیکی غیرخطی روغن‌های گیاهی گردو، رزماری و ذرت برای نخستین بار، با اندازه‌گیری ضریب‌شکست غیرخطی آنها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

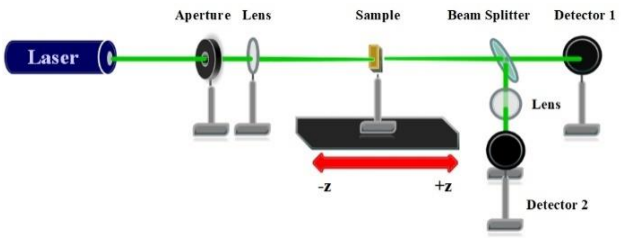
روش تجربی

برای انجام مراحل آزمایشگاهی، سه روغن گیاهی تجاری گردو، رزماری و ذرت تهیه شدند و با روش جاروب محوری، خواص اپتیکی غیرخطی آنها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. روش جاروب محوری روشی ساده و استاندارد است که در این روش ضریب جذب و ضریب شکست غیرخطی را می‌توان محاسبه کرد. این روش ابتدا در سال ۱۹۸۹ توسط منصور شیخ بهایی و همکارانش ارائه شد[۵-۳].



شکل ۱: تصویر روغن‌های مورد استفاده در پژوهش

از روش جاروب محوری روزنه بسته و روزنه باز بترتیب برای تعیین ضریب شکست و ضریب جذب غیرخطی استفاده می‌شود؛ چیدمان آزمایشگاهی مورد استفاده در شکل ۲ نشان داده شده است[۴،۵].



شکل ۲: آرایه اپتیکی جاروب محوری روزنه بسته و باز

در این آرایه، پرتو لیزر پس از گذر از روزنه و تابش به سطح عدسی با فاصله کانونی ۵ سانتی‌متر همگرا شده، و به نمونه مورد نظر تابیده می‌شود. نمونه در راستای انتشار پرتو لیزر در فاصله کانونی عدسی جاروب شده و پرتو لیزر پس از عبور از نمونه به جداکننده تابیده، سپس یک بخش به آشکارساز روزنه بسته (Detector1) و بخش دیگر پس از عبور از عدسی دیگری به آشکارساز روزنه باز (Detector2) می‌رسد و هر دو آشکارساز میزان عبور پرتو را ثبت می‌کنند. با جابجایی نمونه در راستای Z شدت پرتوی لیزر در آشکارساز برحسب موقعیت نمونه نسبت به کانون عدسی تغییر می‌کند؛ به همین جهت، شدت میدان لیزر در ماده منجر به تغییر پاسخ غیرخطی محیط مادی می‌شود. با ثبت داده‌های تغییرات شدت برحسب جابه‌جایی نمونه در راستای Z می‌توان نمودار تراگسیلندگی بهنجار را برای روزنه بسته و باز رسم کرد و با تقسیم داده‌های روزنه بسته به روزنه باز،

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

نمودار تراگسیلندگی بهینه برای تعیین علامت و اندازه ضریب شکست غیرخطی را بدست آورد.

از رابطه (۱) برای برازش داده‌های تجربی می‌توان استفاده کرد[۶]:

$$T(z) = 1 - \frac{4x}{(x^2+9)(x^2+1)}\Delta\Phi \qquad (۱)$$

$$\Delta\Phi = n_2 k I_0 L_{eff} \qquad (۲)$$

که در رابطه بالا $T(z)$ تراگسیلندگی عبوری بهنجار شده، $x=z/z0$ و $z_0=k\omega_0/2$ اســت که Z_0 طول پراکندگی رایلی و ω_0 کمره پرتو(در این پژوهش ۳۰ میکرومتر انـدازه‌گیری شد)، n_2 ضریب شکست غیرخطی، k بردار موج و I_0 شدت پرتو لیزر در کانون است.

طول مؤثر نمونه (L_{eff}) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$L_{eff} = (1 - e^{-\alpha l}) / \alpha \qquad (۳)$$

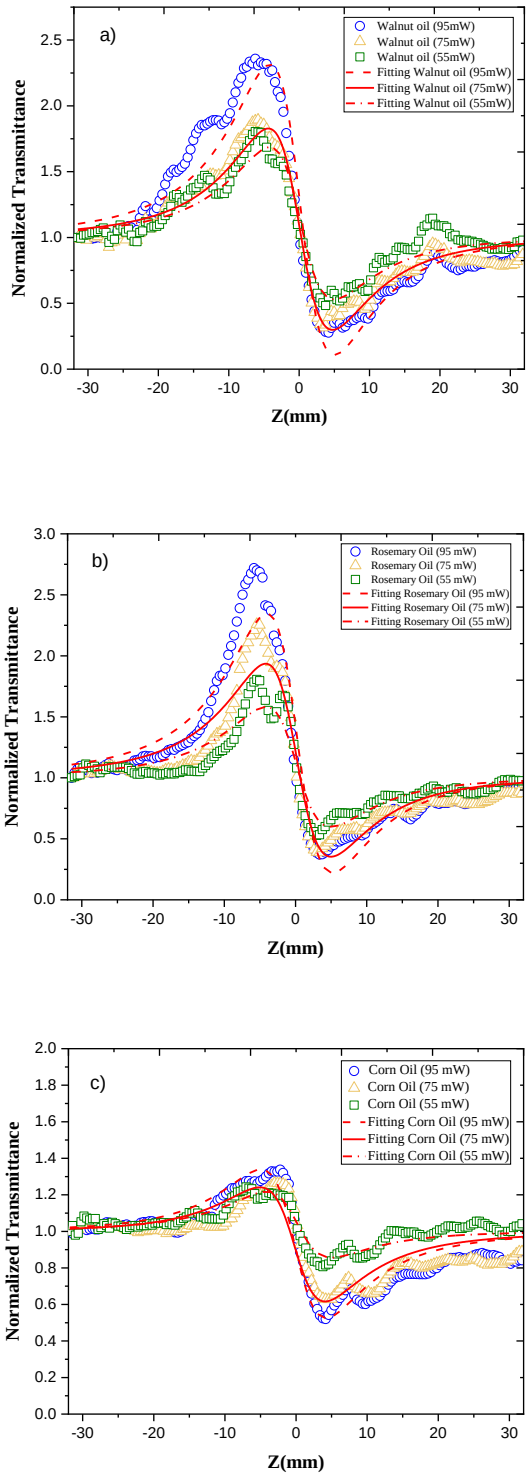
که در این رابطه α ضریب جذب خطی نمونه است[۳].

با کمک داده‌ها در قله و دره می‌توان $\Delta T_{p-v}=T_p - T_v$ را محاسبه کرد. از این رو طبق روابط زیر می‌توان تغییر فاز غیرخطی ناشی از شکست غیرخطی و سپس ضریب شکست غیرخطی(از رابطه ۲) را به دست آورد[۶]:

$$\Delta T_{p-v} \approx 0.406\,(1-S)^{0.25}\,|\Delta\Phi| \qquad (۴)$$

انتقال خطی از روزنه ($S= 1-exp(-2r_a^2/\omega_a^2)$ ω_a شعاع پرتو در روزنه و r_a شعاع روزنه) است[۴،۶].

شکل (۲) نمودار تراگسیلندگی بهنجار با تقسیم نمودار تراگسیلندگی بهنجار روزنه بسته به روزنه باز برای هر سه روغن گردو، رزماری و ذرت را نشان میدهد. دیده می شود که در هر سه نمونه با افزایش شدت فرودی، اختلاف قله و دره نیز در نمودار تراگسیلندگی بهنجار افزایش می‌یابد



شکل۳: نمودار تراگسیلندگی بهنجار عبوری برای سه روغن a) گردو b) رزماری c) ذرت در سه توان ۹۵ و ۷۵ و ۵۵ میلی وات

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

نتایج و بحث

با تجزیه و تحلیل نمودارهای تراگسیلندگی بهنجار عبوری برای سه نمونه روغن دیده می شود که ΔT_{p-v} با افزایش شدت پرتو لیزر فرودی، افزایش می‌یابد. مقدار ضریب شکست غیرخطی محاسبه شده نمونه‌ها در توان‌های فرودی لیزری مختلف با استفاده از تابع برازش رابطه (۱) و رابطه (۴)، در جدول ۱ آورده شده است.

جدول۱: نتایج حاصل از روغن‌های مختلف در توان‌های متفاوت

نمونه	توان فرودی (mW)	ΔT_{p-v}	$-n_2$ *	$-n_2$ †
گردو	۹۵	۲/۰۹۴۸	۷/۶۱۱	۷/۷۳۷
	۷۵	۱/۵۸۲۷	۷/۲۸۴	۶/۸۱۹
	۵۵	۱/۲۳۶۵	۷/۱۲۴	۶/۴۲۹
رزماری	۹۵	۲/۳۱۷۳	۸/۴۶۴	۷/۴۵۲
	۷۵	۱/۷۵۰۹	۸/۱۰۱	۷/۰۶۳
	۵۵	۱/۱۶۲۵	۷/۳۳۴	۵/۹۹۱
ذرت	۹۵	۰/۸۲۴۵	۲/۹۵۴	۲/۸۱۸
	۷۵	۰/۶۱۴۲	۲/۷۸۸	۲/۷۲۹
	۵۵	۰/۳۹۸۵	۲/۴۶۶	۲/۱۵۶

* ($\times 10^{-8}$)مقادیر بدست آمده برحسب رابطه (۴)
† ($\times 10^{-8}$)مقادیر بدست آمده برحسب رابطه (۱)

در این مقاله سه روغن متفاوت گردو، رزماری و ذرت تهیه شد و خواص اپتیکی غیرخطی آنها با تکنیک جاروب محوری با استفاده از لیزر پیوسته Nd:YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر مورد بررسی قرار گرفت. با رسم نمودار تراگسیلندگی بهنجار عبوری و سپس مقایسه، تجزیه و تحلیل آنها مشاهده شد که ضریب شکست غیرخطی محاسبه شده، برای هر سه روغن از مرتبه 10^{-8} cm^2/W است و ترتیب قرارگیری قله-دره در نمودار تراگسیلندگی بهنجار عبوری، نشان دهنده ضریب شکست غیرخطی منفی است که اثر خودواکانونی نمونه را نشان می‌دهد. مشاهده رفتار اپتیکی غیرخطی نمونه های روغن‌های گیاهی مورد مطالعه، می تواند به عنوان شاخصی در اصالت‌سنجی روغن‌ها مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان از شرکت دانه‌های روغنی یزد برای همکاری در تهیه نمونه قدردانی می‌نمایند.

مرجع‌ها

[1] Xia, Y., & Larock, R.C. (2010). Vegetable oil-based polymeric materials: synthesis, properties, and applications. Green Chemistry, 12, 1893-1909.

[2] Ribeiro, M. S., Turchiello, R. F., & Gómez, S. L. (2019). Employment of laser beam self-phase modulation for detecting adulterations in light-absorbing commercial fluids. Food Analytical Methods, 12(4), 908-913.

[3] Mousavi, Z., Ghafary, B., & Ara, M.H. (2019). Fifth- and third- order nonlinear optical responses of olive oil blended with natural turmeric dye using z-scan technique. Journal of Molecular Liquids.

[4] E. W. Stryland and M. Sheik-bahae, "Z-Scan Measurements of Optical Nonlinearities," 2004.

[5] M. Sheik-bahae, A. Said, and E. V. Van Stryland, "High-sensitivity, single-beam n(2) measurements.," *Opt. Lett.*, vol. 14 17, pp. 955–957, 1989.

[6] M. Sheik-bahae, A. Said, T.-H. Wei, D. Hagan, and E. W. Stryland, "Sensitive Measurement of Optical Nonlinearities Using a Single Beam Special 30th Anniversary Feature," 1990.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

با سلام و احترام
استاد ارجمند، جناب آقای دکتر ملک فر،
دبیر محترم کمیته علمی کنفرانس اپتیک و فوتونیک

ضمن سپاس از حضرتعالی و پیشنهادات داوران محترم، بدینوسیله توضیحات زیر پیرو سوالات و پیشنهادات داوران ارائه می‌گردد:

۱- با توجه به اینکه از توان لیزر حدود ۱۰۰ میلی وات استفاده شده از اثر گرمایی دراین مقاله هیچ صحبتی نشده لازم است در این باره نویسندگان توضیح دهند.
پاسخ و توضیح: ضمن تشکر از نظر داور محترم، در این مورد تصحیحات مورد نظر در متن گنجانده شده است.

با احترام مقالات مشابهی برای مواد دیگر قبلا ارائه شده است با این وجود توصیه می‌شود موارد زیر اصلاح یا پاسخ داده شود:
۲- از موارد نظری که بیان شده چه استفاده‌ای شده است؟!
پاسخ و توضیح: ضمن تشکر، از موارد نظری ارایه شده در مقاله برای تخمین ضریب شکست غیرخطی و برازش داده های تجربی استفاده شده است.

۳- غلظت چه تاثیری دارد و چگونه می‌توان این نتایج را برای تشخیص اصالت مورد استفاده قرار داد چونکه نتایج نسبی است و به پارامترهای تولید بستگی دارد.
پاسخ و توضیح: در مقاله حاضر اثرات غلظت روغن‌ها مورد مطالعه قرار نگرفته است. این موضوع در حال تحقیق آزمایشگاهی است و نتایج آن در آینده نزدیک منتشر خواهد شد. در این مقاله هدف اصلی مشاهده رفتارغیرخطی روغن‌هایی بوده است که پیشتر در این طول موج نتایج آن گزارش نشده بود. همانگونه که داور محترم اشاره داده اند، پارامترهای مختلف موثرند. در این مقاله، در فاز نخست روغن‌های فعلی موجود در بازار که نشان استاندارد داشته‌اند مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۴- باید یک نمونه اصلی با یک نمونه تقلبی مقایسه شود شاید اختلاف نتایج کمتر از نتایج تجربی باشد در نهایت نتایج تنها یک گزارش خروجی آزمایش است و نیاز به تحلیل قوی تری دارد.
با مطالعات انجام شده دریافتیم که روغن‌ها نظیر روغن زیتون اثر غیرخطی دارند. در مرحله اول پژوهش ابتدا برای طول موج انتخابی روغن‌ها را مورد پژوهش قرار دادیم که مشاهده کردیم روغن‌های انتخاب شده اثر غیرخطی دارند.
در فاز بعدی پژوهش برای تایید اصالت سنجی، روغن‌ها را که در آزمایشگاه‌های موادغذایی اصالت آنها تایید شده‌اند تهیه شد و مورد مطالعه و پژوهش قرار می‌گیرد انتظار می‌رود که روغن‌های که ناخالصی دارند با کاهش غلظت رفتارغیرخطی آنها تغییر کند که این پژوهش در حال انجام است و نتایج پس از تجزیه و تحلیل گزارش خواهد شد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]