

بررسی اثر حلال در پاسخهای غیرخطی آزو دای Disperse Red 1

سمیه سلمانانی^۱

^{۱*}آزمایشگاه فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

در این پژوهش، اثرات قطب حلالهای مختلف بر روی پاسخهای غیرخطی رنگدانه آلی آزو دای با نام تجاری Disperse Red 1 با روش جاروب-Z تحت تابش لیزر با طول موج ۵۳۲ نانومتر مورد بررسی قرار گرفت. ضریب شکست و جذب غیرخطی DR1، توسط این چیدمان در حضور حلال‌های مختلف به دست آمد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که پاسخ غیرخطی بسیار به محیط مولکولی اطراف رنگدانه و برهم کنش‌های بین مولکولی آنها بستگی دارد. از آنجایی که، الکل‌ها، در حلال‌های مورد مطالعه دارای خاصیت نظم‌دهی بیشتری می‌باشند، با افزایش ضریب دی‌الکتریک مقدار ضریب شکست غیرخطی کاهش می‌یابد اما در مورد بقیه حلال‌ها که خاصیت نظم‌دهی کمتری دارند، مقدار ضریب شکست غیرخطی با افزایش ضریب دی‌الکتریک افزایش می‌یابد. ضریب شکست به دست آمده با علامت منفی و از مرتبه $10^{-7} \text{ cm}^2/\text{W}$ می‌باشد که نشان‌دهنده خاصیت خودواکنش‌رنگدانه آلی در حضور حلال‌های متفاوت می‌باشد.

واژگان کلیدی: آزو دای، اثر حلال، پاسخ‌های غیرخطی، جاروب-Z

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲

تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۱۱/۶

شاپای چاپی: 2588-493x
شاپای الکترونیکی: 2588-4921

* نویسنده مسئول

salmani@khu.ac.ir



مقدمه

ساختار حلال نقش کلیدی در برهم کنش و تحت تاثیر قرار دادن خواص نوری مولکولهای حل‌شونده در حلال دارد. این اثرات در خواص اپتیکی مواد آلی بخصوص مولکول‌های آزو دای تاثیر چشمگیری دارد [1-5]. بنابراین مطالعه این تغییرات در پاسخهای اپتیکی، موضوع جالب توجهی برای پژوهشگران در حوزه اپتیک می‌باشد. پاسخ‌های غیرخطی مرتبه سوم که به دلیل تغییر در ضریب شکست رخ می‌دهد اساس سیستم‌های محاسباتی و سوئیچ‌های اپتیکی مانند اپتیک مزدوج فازی

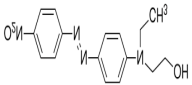
است [6]. روشهای زیادی برای اندازه‌گیری پدیده‌های غیرخطی وجود دارد مثل تداخل سنجی غیرخطی [7]، جاروب-Z [8]، انحراف ماره [9] و روشهای دیگری که بیان شده است [10-12] اما از میان همه روشها، روش جاروب-Z [13] به دلیل سادگی و دقت بالا بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته است.

در میان مواد مختلفی که خواص غیرخطی خوبی دارند، آزو دای‌ها که به عنوان رنگدانه‌ها از آنها نام برده می‌شود، رفتارهای اپتیکی غیرخطی بسیار مناسبی دارند

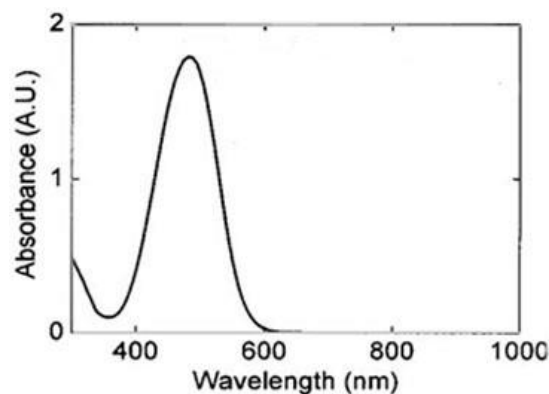
۱-۱: مواد

رنگینه آزو دای Disperse Red 1 از شرکت سیگما آلدیج خریداری شده است که مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین همه حلال‌ها با درصد خلوص بالا از شرکت مرک تهیه شده است.

جدول ۱: مشخصات آزو دای

نام تجاری	وزن مولکولی	ساختار
Disperse Red 1	۳۱۴,۳۴ g/mol	

طیف جذب نمونه DR1 توسط طیف سنج UV-Vis در بازه ۲۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر در یک سلولی که به کنترل دما وصل بود گرفته شد و در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: نمودار جذب رنگدانه DR1

۲-۱ چیدمان روبش-Z

چیدمان آزمایشگاهی مورد استفاده برای تعیین ضریب شکست غیر خطی در شکل ۲ نشان داده شده است. این

[14-15]. این مواد به دلیل سادگی سنتز، ضرایب خاموشی بزرگ و پایداری رطوبتی بالا و قیمت مناسب بسیار مورد استفاده قرار گرفته اند [16]. این مواد می‌توانند با سری بسیاری از گروه‌های بخشنده و پذیرنده تهیه شوند؛ همچنین به دلیل صفحه‌ای^۱ بودن شاخه‌های آزو می‌تواند جابجایی بیشتری از الکترون‌های نوع π را امکان‌پذیر نماید. تسهیل جابجایی الکترون‌های نوع π ، سبب بالا رفتن فعالیت نوری می‌شود [17]. پاسخ غیرخطی بالای این مواد به دلیل اثر ایزومریزاسیون سیس ترانس می باشد که باعث تغییر خواص غیرخطی می شود. به همین دلیل در سالهای اخیر کاربرد این مواد، به علاوه پاسخ های غیرخطی خیره کننده، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. به طور مثال این مواد به عنوان فیلتر ورودی به دستگاه‌ها به عنوان محدود کننده های اپتیکی عمل می کنند. همچنین با نشان دادن خاصیت دوپایداری، قابل کاربرد در وسایل اپتوالکترونیکی هستند. کاربرد دیگه این مواد در سلولهای خورشیدی رنگدانه ای است که باعث افزایش ضریب بازدهی این نوع از سلولهای خورشیدی شده اند [18].

در این مقاله نکته اصلی یافتن رابطه بین پاسخهای اپتیکی غیرخطی در حضور حلال‌ها با درجه قطبش پذیری متفاوت می باشد. به همین منظور، رنگدانه DR1 با غلظت یکسان در شش حلال متفاوت تولوئن، دی کلرومتان، بوتانول، اتانول، دی اتیل اتر و متانول حل شده و اندازه گیری اپتیکی توسط جاروب-Z با روزنه بسته و باز تحت تابش لیزر ۵۳۲ نانومتر با توان خروجی ۱۰۰ میلی وات برای آنها انجام شد.

۱- روش آزمایشگاهی

¹ Planarity

آزمایش قرار دادیم. نمونه را در سلول کوارتز با ضخامت ۱ mm ریخته و در فاصله ۶۰ mm تا ۶۰ mm اطراف نقطه کانون عدسی روبش کردیم. با توجه به تئوری اولیه ایی که در مقاله [19] توسط دکتر شیخ بهایی و همکارانشان بیان شده است، اگر تغییر فاز ایجاد شده به دلیل اثرات غیرخطی کوچکتر از π باشد از رابطه تعریف شده

$$\Delta T_{p-v} = 0.406(1-s)^{0.25} |\Delta \varphi_0| \quad (1)$$

به دست می آید که در آن

$$\Delta \varphi_0 = kn_2 I_0 L_{eff} = k \Delta n_0 L_{eff} \quad (2)$$

$$L_{eff} = \frac{1-e^{-\alpha L}}{\alpha} \quad \text{و}$$

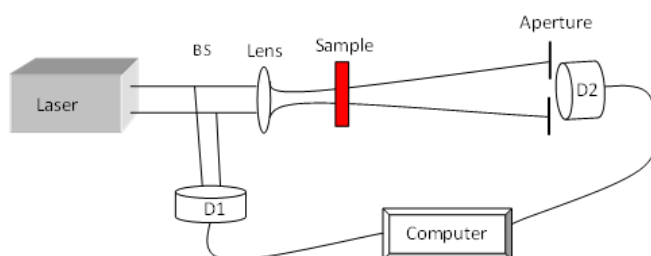
می باشد که در این رابطه ΔT_{p-v} فاصله قله-دره در نمودار نرمالیزه شده عبور و S میزان عبور خطی می باشد. ولی با توجه به نمودار به دست آمده مشخص شد که شیفت های به دست آمده بزرگتر از π می باشد. همان طور که در [20] نشان داده شده است، برای شیفتهای فازی بزرگتر از π رابطه زیر برقرار می باشد:

$$\Delta T_{p-v} = 3.06 \left[1 - e^{(-|\Delta \varphi_0|/5.81)} \right] (1-s)^{0.25}$$

$$\pi < |\Delta \varphi_0| < 25 \quad (3)$$

که خطوط پررنگ نمودار فیت شده با داده های تجربی است.

چیدمان برای رنگدانه آزو بنزن DR1 در حلال های مختلف با لیزر پیوسته Nd:YAG با توان خروجی ۱۰۰ میلی وات در طول موج ۵۳۲ نانومتر مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۲: چیدمان جاروب-Z با دریچه بسته

برای شروع چیدمان آزمایشگاهی، ابتدا می بایست پرتو لیزر را با ریل اپتیکی چنان تنظیم کرد که نور لیزر، دقیقاً از وسط ابزارهای اپتیکی مانند عدسی، قطبشگر، روزنه و... بگذرد. در این چیدمان، برای متمرکز کردن باریکه ی لیزر ND:YAG در مد TEM_{00} ، از عدسی با فاصله کانونی ۸ cm گذشته و برای تغییر شدت پرتوی لیزر از یک کاهنده شدت قبل از عدسی استفاده شده است. نمونه بر روی ریل نوری، حول نقطه-ی کانونی (Z_0) با گام های یکسان ۱ mm حرکت داده می شود. سپس توان عبوری از نمونه در فاصله ای دور بعد از عبور از روزنه به آشکارساز (Coherent) می رسد.

۲-۲ - اندازه گیری ضریب شکست غیرخطی

در این بخش روی تمامی نمونه های حلال رنگینه DR1 که در شش حلال متفاوت تهیه شده بود، آزمایش جاروب-Z با روزنه بسته را تکرار کردیم. هدف ما در این بخش بررسی رابطه بین ضریب دی الکتریک حلالها و پاسخهای غیرخطی می باشد. در ابتدا محلول DR1 با غلظت ۱ mM در تولوئن را مورد

همانطور که از نتایج و نمودارها مشخص است پاسخ اپتیکی غیرخطی آزو دای در تمامی حلالهای الکلی به دلیل اولویت قله بر دره، منفی است که نشان دهنده پدیده خودواکانونی است و ماده به عنوان یک عدسی واگرا کننده عمل کرده است. همچنین، ضریب شکست غیرخطی به دست آمده بر طبق رابطه (۳) به ترتیب

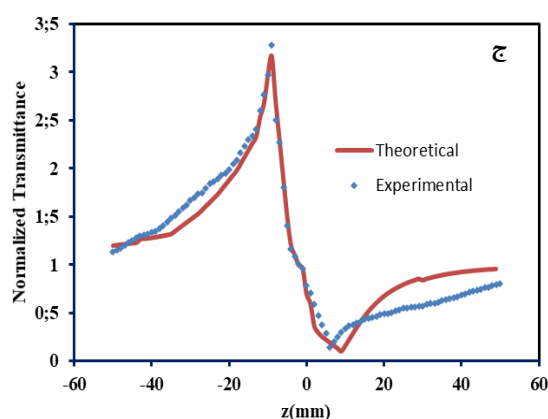
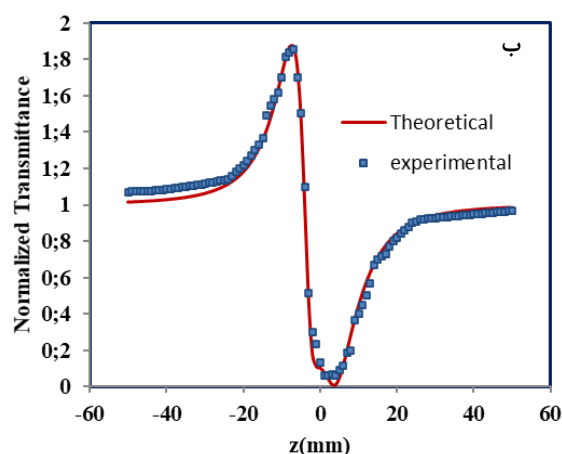
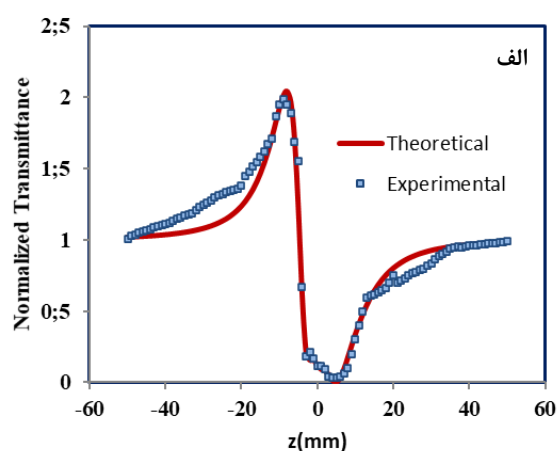
$(10^{-7}) -2.8$ ، $(10^{-7}) -4.67$ و $(10^{-7}) -7.79$ برای دی کلرومتان، دی اتیل اتر و تولوئن به دست آمد. نتایج نشان می دهد که با افزایش ضریب دی الکتریک بر طبق جدول ۱، ضریب پاسخ غیرخطی کاهش می یابد که این هم به دلیل خاصیت نظم دهی بیشتر در الکل هاست که با افزایش پاسخ غیرخطی جلوگیری می کند و روند به شکل کاهشی مشاهده می شود.

جدول ۱: ضرایب غیرخطی DR1 در حلالهای الکلی

نام حلال	ϵ	$\Delta\Phi$	$n_2 \times 10^{-7}$ (cm^2/W)
تولوئن	2.4	24.5	-7.79
دی اتیل اتر	4.2	15.1	-4.67
دی کلرومتان	8.93	9.1	-2.80

همچنین این مطالعات بر روی حلال های دیگر غیرالکلی مانند بوتانول با ضریب دی الکتریک ۱۷،۵۱، اتانول با ضریب دی الکتریک ۲۴،۵۵ و متانول با ضریب دی الکتریک ۳۲،۶۶ در همان توان و طول موج فرودی تکرار شد و نتایج در شکل ۴ نمایش داده شده است.

حلال هایی که خاصیت الکلی داشتند مانند دی کلرومتان با ضریب دی الکتریک ۸،۹۳، دی اتیل اتر با ضریب دی الکتریک



شکل ۳: نمودار ضریب شکست غیرخطی برای حلال الف) دی کلرومتان (ب) دی اتیل اتر ج) تولوئن

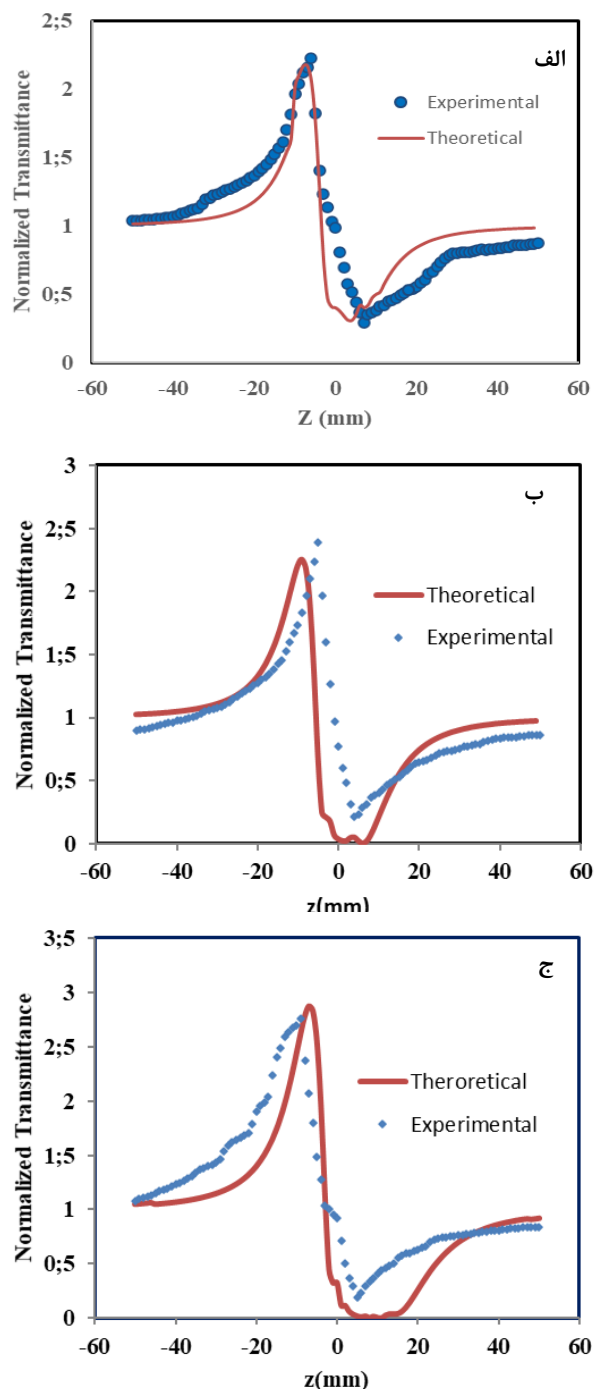
عدسی واگرا کننده عمل کرده است. همچنین، ضریب شکست غیرخطی به دست آمده بر طبق رابطه ۳ به ترتیب (10^{-7}) 2.18، (10^{-7}) 3.74 و (10^{-7}) 6.23 برای بوتانول، اتانول و متانول به دست آمد. نتایج نشان می دهد که با افزایش ضریب دی الکتریک بر طبق جدول ۲، ضریب پاسخ غیرخطی اینبار افزایش می یابد که این هم به دلیل خاصیت نظم دهی کمتر در این حلال هاست که با افزایش پاسخ غیرخطی همراهی کرده و روند به شکل افزایشی مشاهده می شود.

جدول ۲: ضرایب غیرخطی DR1 در حلالهای غیرالکلی

نام حلال	ϵ	$\Delta\Phi$	$n_2 \times 10^{-7}$ (cm^2/W)
بوتانول	17.51	7.1	-2.18
اتانول	24.55	12.2	-3.74
متانول	32.66	20.1	-6.23

۲-۳- اندازه گیری جذب خطی و غیرخطی

برای بررسی بیشتر نقش حلال ها در پاسخ های اپتیکی DR1، در مرحله بعد روزنه را حذف کرده و چیدمان جاروب Z- با روزنه باز را برای اندازه گیری ضریب جذب غیرخطی (β) به کار بردیم. سپس با تغییر توان ورودی و اندازه گیری توان خروجی با استفاده از قانون بیر لامبرت، ضریب جذب خطی (α) را نیز به دست آوردیم که این روش ها به طور کامل در [21] بیان شده است و برای اجتناب از تکرار نمودارها فقط نتایج نهایی ارائه



شکل ۴: نمودار ضریب شکست غیرخطی برای حلال الف) بوتانول

ب) اتانول ج) متانول

شبيه به نتایج مربوط به حضور آزودای DR1 در حلال های الکلی، ضریب شکست غیرخطی اپتیکی آزو دای در تمامی حلالهای غیرالکلی نیز به دلیل اولویت قله بر دره، منفی است که نشان دهنده پدیده خودواکانونی است و ماده به عنوان یک

دی الکتریک را نشان می دهد. ضریب بعدی α است که نشان دهنده اسیدیته های پیوند دهنده های هیدروژنی (HBD) است که نشان دهنده توانایی حلال برای اهدای پروتون در پیوند هیدروژنی حلال با حل شونده است. آخرین ضریب، β است که نشان دهنده توانایی حلال برای پذیرش پروتون می باشد. این ضرایب در جدول ۴ برای حلال های الکلی (غیرقطبی) و غیر الکلی (قطبی) نشان داده شده است.

جدول ۴: ضرایب قطبش پذیری حلال ها [22]

نام حلال	ϵ	n	π^*	α	β
تولون	2.4	1.49	0.09	0.10	0.15
دی اتیل اتر	4.2	1.35	0.11	0.11	0.59
دی کلرومتان	8.9	1.42	0.73	0.13	0.10
بوتانول	17.5	1.39	0.47	0.84	0.84
اتانول	24.3	1.36	0.54	0.86	0.75
متانول	33.7	1.32	0.6	0.98	0.66

همانطور که در ابتدای بحث مطرح شد اینکه مشخصات حلال، ضریب دی الکتریک، ضرایب قطبی بودن حلال π^* و ضرایب α و β چقدر باشند در پاسخهای غیرخطی نقش ایفا می کنند. از آنجاییکه ضرایب قطبش پذیری، پروتون دهی و پروتون پذیری در این نوع حلال ها با هم متفاوت است لذا رفتار اپتیکی غیرخطی هم تغییر میکند. حلال ها با ضرایب قطبش پذیری پایین تر در این سری از حلالها دارای خاصیت نظم دهی بیشتری می باشند لذا با افزایش ضریب دی الکتریک مقدار ضریب شکست و جذب غیرخطی کاهش می یابد اما در مورد بقیه حلالها

می شود. نتایج به دست آمده برای حلال های الکلی و غیرالکلی همان طور که در جدول ۳ نشان داده شده است نشان دهنده کاهش ضریب غیرخطی برای حلال های غیرالکلی با افزایش ضریب دی الکتریک و افزایش این ضریب برای حلال های الکلی می باشد. اما نکته جالب اینجاست که ضریب جذب خطی چون در توان های خیلی پایین اندازه گیری می شود چندان مرتبط با پارامتر نظم و قطبش پذیری آنها نمی باشد.

جدول ۳: ضرایب جذب خطی و غیرخطی در حلال های الکلی و غیرالکلی

نام حلال	ϵ	$\beta(\text{cm/W})$	$\alpha(\text{cm}^{-1})$
تولون	2.4	0.81	1.67
دی اتیل اتر	4.2	0.47	1.64
دی کلرومتان	8.9	0.11	1.63
بوتانول	17.5	0.66	1.23
اتانول	24.3	0.75	1.45
متانول	33.7	0.88	1.41

۳- یافته ها

همان طور که بیان شد در این مقاله هدف یافتن اثر نوع حلال بر پاسخ های غیرخطی می باشد. چند پارامتر برای بررسی اثر حلال به کار می رود. اولین پارامتر ضریب دی الکتریک است که همانگونه که بیان شد با تغییر ضریب دی الکتریک در حلالهای الکلی (غیرقطبی) و غیرالکلی (قطبی) رفتار پارامترهای اپتیکی تغییر می کند. ضرایب دیگر، یکی ضریب π^* است که نشان دهنده ضریب دوقطبی/قطبی پذیری حلال است. این ضریب توان حلال برای پایداری دوقطبی روی ضریب

Haghighi, "Environment effect on spectral and charge distribution characteristics of some drugs of folate derivative"s, *Spectrochim. Acta A*, 171 10–17, 2017.

[4] A. Jafari, A. Ghanadzadeh, H. Tajalli, M. Yeganeh, M. Moghadam, "Electronic absorption spectra of cresyl violet acetate in anisotropic and isotropic solvents", *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 66, 717–725, 2007.

[5] M. Khadem Sadigh, M.S. Zakerhamidi, "Media polarity and concentration roles on the third order nonlinear behaviors of thiazine dyes", *Opt. Laser Technol.* 100 216–224, 2018.

[6] S. Salmani, E. Safari, M.H. Majles Ara, M.S. Zakerhamidi, "Optimizing experimental parameters on OPC in PMMA polymer doped azo dye", *Journal of Molecular Liquids*, Volume 182, 102-105, 2013.

[7] M.J. Moran, C.Y. She, R.L. Carman, "Interferometric measurements of nonlinear

refractive-index coefficient relative to CS2 in laser-system-related materials", *IEEE J. Quantum Electron.* 11, 259–263, 1975.

[8] M. Sheik-Bahae, A.A. Said, T.H. Wei, D.J. Hagan, V. Stryland, "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam", *IEEE J. Quantum Electron.* 26, 760–769, 1990.

[9] MHM Ara, SH Mousavi, E Koushki, S Salmani, "Nonlinear optical responses of Sudan IV doped liquid crystal by z-scan and moiré deflectometry techniques", *Journal of Molecular Liquids*, 142, 29-31, 2008.

[10] M. Wielgus, M. Samoć, W. Bartkowiak, "Two-photon absorption of Crystal Violet in solutions: analysis of the solvent effect and aggregation process based on linear and nonlinear absorption spectra", *Journal of Molecular Liquids*, 222, 125–132, 2016.

[11] R.K. Rekha, A. Ramalingam, Nonlinear characterization and optical limits effects on Carmin dyes, *Indian J. Sci Technol.* 2, 27–31, 2009.

که خاصیت نظم دهی کمتری دارند مطابق با جدول ارائه شده مقدار ضریب شکست و جذب غیرخطی با افزایش ضریب دی الکتریک افزایش می یابد.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله، هدف بررسی اثر پارامترهای حلال بر روی پاسخهای غیرخطی بود. به همین منظور، رنگدانه آزو دای DR1 در شش حلال مختلف با غلظت 1mM تهیه شد و توسط روش جاروب-Z پاسخهای غیرخطی به دست آمد. نتایج نشان داد که این ماده تحت تابش طول موج ۵۳۲ نانومتر خاصیت خودواکانونی دارد و همچون عدسی واگرا بر روی جبهه موج نور ورودی اثر می گذارد. همچنین شیفت های فازی به دست آمده بسیار بالاتر از π بود که نشان دهنده پاسخ های غیرخطی بسیار قوی است و این ماده کاندید کاربردهای بسیاری در اپتیک غیرخطی می باشد. همچنین نشان داده شد که با توجه به ثابت های دی الکتریک و ثابت قطبش پذیری حلال ها میزان پاسخ غیرخطی تغییر می کند.

منابع

[1] Sadigh, M. Khadem, M. S. Zakerhamidi, B. Rezaei, and K. Milanchian. "Environment effects on the nonlinear absorption properties of Methylene blue under different power of excitation beam." *Journal of Molecular Liquids*, 229 548-554, 2017.

[2] M.S. Zakerhamidi, Sh. Golghasemi Sorkhabi, "Solvent effects on the molecular resonance structures and photo-physical properties of a group of oxazine dyes", *J. Lumin.* 157, 220–228, 2015.

[3] M. Khadem Sadigh, M.S. Zakerhamidi, S.M. Seyed Ahmadian, M. Johari-Ahar, L. Zare

- [22] C. Reichardt, *Solvents and Solvent Effects in Organic Chemistry*, 2nd ed., VCH, New York, 1988.
- [12] A. Owyong, "Ellipse rotations studies in laser host materials", *IEEE J. Quantum Electron.* 9, 1064–1069, 1973.
- [13] Al-Hamdani U.J.; A. Hassan Q.M.; Elias R.S.; Sultan H.A.; Alshlshat S.A.; Emshary C.A., "Thermal nonlinearity and all-optical switching of synthesized Azo-Cl compound", *Optical Materials*, 139, 113824, 2023.
- [14] S Salmani, H Asgari, "the Matrix Effect on Nonlinear Optical Responses of Disperse Orange 25: Optical Bistability and Z-Scan", *Journal of Fluorescence*, 32 (6), 2281-2286, 2022.
- [15] Mohamed Yahya, Nurgül Seferoğlu, Gökhan Kaplan, Yahya Nural, Alberto Barsella, Zeynel Seferoğlu, "Synthesis, nonlinear optical properties, photophysical, and theoretical studies of azo dye bearing coumarin-thiophene", *Journal of Molecular Structure*, 1273, 134257, 2023.
- [16] Puja O. Gupta, Nagaiyan Sekar, "Investigation of heterocyclic azo dyes for dye-sensitized solar cells and non-linear optical properties: Synthesis and in-silico studies", *Journal of Molecular Structure*, Volume 1321, Part 4, 140035, 2025.
- [17] S. Salmani, M.H. Majles Ara, "The optical length effect, diffraction pattern and thermal lensing of Disperse Orange 25", *Optics and Laser Technology*, 82, 34-37, 2016.
- [18] Brzozowski L.; Sargent E.H., "Azobenzenes for photonic network applications: Third-order nonlinear optical properties", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Volume 12, Issue 9, Pages 483 – 489, 2001.
- [19] M. Sheik-Bahae, A.A. Said, V. Stryland, High-sensitivity, "single-beam n_2 measurements", *Optics Letter.* 14, 955–957, 1989.
- [20] E. Koushki, A. Farzaneh, S.H. Mousavi., "Closed aperture z-scan technique using the Fresnel–Kirchhoff diffraction theory for materials with high nonlinear refractions.", *Applied Physics B*, Vol. 99, 565-570, 2010.
- [21] Morteza A Sharif, Somayeh Salmani, Salman Mohajer, MH Majles Ara, "Experimental comparison of nonlinear optical properties between graphene oxide and reduced graphene oxide", *Journal of Electronic Materials*, 48, 6414-6420, 2019.

Solvent Effect Investigation on Nonlinear Responses of an Azo-dye: Disperse Red 1

¹ S. Salmani

^{1*} Photonics Lab, Physics Department, Karaj, Iran

Article details

Received: 2025/01/12

Accepted: 2025/01/21

Published: 2025/01/25

ISSN: 2588-493x

eISSN: 2588-4821

Correspondence email:

salmani@khu.ac.ir



Abstract

In this study, the solvent polarity effects on the nonlinear responses of the organic azo dye with the commercial name, Disperse Red 1, were investigated by the z-scan method under 532 nm laser irradiation. The nonlinear optical refraction and absorption were obtained for different solvents. The experimental results reveal that the nonlinear response is highly dependent on the molecular environment around the azo dye and its intermolecular interactions. Since alcohols have a higher order parameter, the nonlinear refraction and absorption decrease with increasing dielectric constant, but for other solvents with low order parameters, the nonlinear indexes increase with increasing dielectric constant. The refractive index is negative and in order of 10^{-7} cm²/W, which indicates that self-focusing occurs for different solvents.

Keywords: Azo dye, Solvent effect, Nonlinear responses, z-scan.