بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

# تعیین خواص اپتیکی غیرخطی نانوکامپوزیت پلی یورتان سلول بسته- آلومینا به روش Z اسکن

مرضیه ندافان، رسول ملک فر* و زهرا دهقانی

*گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی ۱۷۵-۱۴۱۱۵

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه نیشابور

**چکیده – در این تحقیق نانوکامپوزیت پلی یورتان سلول بسته و نانوذرات آلومینا با سه درصد وزنی مختلف از نانوذرات سیلیکا فراهم شده است. با استفاده از روش Z اسکن، ضرایب اپتیکی غیرخطی نمونه ها از جمله ضریب شکست غیرخطی و ضریب جذب غیرخطی بدست آمد که ضریب شکست غیرخطی آنها، $n_2$ ، منفی و از مرتبه $10^{-8}$ $(cm^2/W)$ و ضریب جذب غیر خطی، β، از مرتبه $10^{-5}$ $(cm/W)$ بدست آمد.**

کلید واژه- اپتیک غیرخطی، آلومینا، پلی‌یورتان، روبش Z، نانوذرات.

# Characterization of Nonlinear Optical Properties of Polyurethane Close Cell/Alumina Nanocomposites by Z-Scan Method

Marzieh Nadafan, Rasoul Malekfar* and Zahra Dehghani

Department of Physics, Tarbiat Modares University, P.O. Box ۱۴۱۱۵-۱۷۵, Tehran, I.R. Iran

Department of Physics, University of Neyshabur, I.R. Iran

Abstract- In this research PUCC/$Al_2O_3$ nanocomposites containing ۱, ۱,۵ and ۲ wt% $Al_2O_3$ have been prepared. Nonlinear optical coefficients of samples such as nonlinear refractive index and nonlinear absorption coefficient were obtained by Z scan technique. These features were calculated in the order of $10^{-8}$ ($cm^2$/W) and $10^{-5}$(cm/W), respectively.

Keywords: Nonlinear optics, Alumina, Polyurethane, Z scan, Nanoparticles.



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

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04 ]

## ۱- مقدمه

پاسخ ضعیف غیرخطی مواد معدنی یافت شده، منجر به گرایش محققین در دهه های اخیر برای یافتن مواد غیرخطی جدید شده است[۱-۳]. تلاش های محققین در زمینه اپتیک غیرخطی و گرایش به سمت مواد آلی بسرعت ادامه یافت تا اینکه در دهه ۱۹۸۰ مواد آلی به عنوان ماده ویژه در زمینه اپتیک غیرخطی معرفی شدند که به دنبال آن ترکیبات آلی-معدنی بدلیل دارابودن خواص منحصربه فرد مورد توجه ویژه قرار گرفت تا بتوان از آنها در کاربردهایی از جمله محدود کننده های اپتیکی، ادوات اپتوفوتونیکی و فوتوالکترونیکی استفاده کرد[۲-۴]. ترکیبات معدنی-آلی بدلیل داشتن مزیت های پلیمرهای آلی (قابلیت انعطاف پذیری، چکش خواری و ...) و ویژگی های کارآمد مواد معدنی (پایداری دمایی بالا، سختی بالا، ضریب شکست بالا و...) بسیار مورد توجه محققین و صنعت می باشد[۵]. در سال های اخیر، این مواد بویژه در ادوات اپتیکی و اپتوالکترونیکی، منتشر کننده های نوری، هماهنگ های دوم، مبدل فرکانسی، موجبرها و ... بکار می روند[۵].

در میان روش های موجود برای بررسی اثرات اپتیک غیرخطی مواد، روشZ-scan روشی بسیار ساده و در عین حال حساس برای اندازه گیری ضریب جذب وضریب شکست غیرخطی است.

دکتر شیخ بهایی و همکارانشان در سال ۱۹۸۹ این روش را معرفی کردند. این روش خیلی سریع مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت و دلیل پذیرفته شدن آن سادگی روش و تفسیر داده های آن است. در این تحقیق سعی شده تا از این روش برای تعیین ضرایب مذکور در نانوکامپوزیت های پلی یورتان سلول بسته آلومینا استفاده شود.

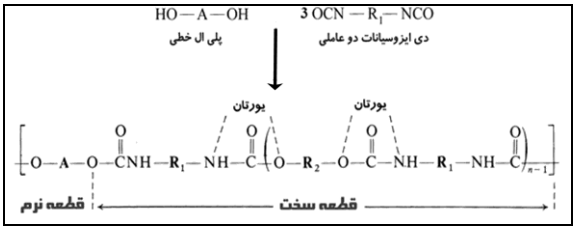
## ۲- فرآیندهای تجربی

### ۲-۱- مواد

نانوذرات آلومینا با اندازه ۱۵-۲۰ نانومتر خریداری شده از شرکت US Research Nanomaterial آمریکا، دی فنیل متان دی ایزوسیانات با چگالی ۱/۲۳ g/cm۳ ، پلی اتر پلی ال با چگالی ۱/۱ g/cm۳، و عامل پف کنندگی(HCF–C) که از شرکت اکسون پناه تهیه شده است.

### ۲-۲- سنتز نانوکامپوزیت‌ها

برای تهیه نانوکامپوزیت های حاوی درصدهای مختلف آلومینا مقادیر مناسب توزین و به جزء پلی ال تحت همزدن شدید الکتریکی به مدت ۲۰ ثانیه با ۳۰۰۰ دور بر دقیقه اضافه می شود تا محلولی همگن بدست آید. سپس جزء ایزوسیانات را به این محلول با دور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۴ الی ۵ ثانیه افزوده می شود. بعد از ۱۲ ثانیه واکنش کامل می گردد. نسبت پلی ال به ایزوسیانات یک به یک است. سپس محلولی با غلظت ۰/۱ مولار توسط N و N دی متیل فرمامید و نمونه های مورد نظر تهیه می گردد. شکل ۱ سنتز پلی یورتان سلول بسته خالص را نشان می دهد.




شکل ۱: سنتز پلی یورتان

## ۳- نتایج و بحث

روش Z اسکن شامل دو چیدمان تجربی دریچه بسته (closed aperture) و دریچه باز (open aperture) می باشد که به ترتیب قادرند ضریب شکست غیرخطی $n_2$ و ضریب جذب غیرخطی $\beta$ را تعیین کنند. برای چیدمان دریچه بسته طیف عبوری بهنجار شده توسط رابطه زیر بدست می آید.

$$\Delta T_{p-v} = 0.406(1-S)^{0.25}\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)n_2 I_0 L_{eff} \qquad (1)$$

که $\Delta T_{p-v}$ فاصله بین دره و قله نمودار عبوری بهنجار شده، $S$ پارامتر خطی دریچه $L_{eff}$ طول موثر نمونه، $I_0 = 2P_{in}/\left(\pi\omega_0^2\right)$ شدت برخوردی نور در نقطه کانونی، $\omega_0$ کمر پرتوی لیزر درون نمونه و $P_{in}$ توان ورودی لیزر است. چیدمان آزمایشگاهی روش Z اسکن در مراجع آمده است[۴].

در این آزمایش لیزر Nd:YAG با طول موج پیوسته و فرکانس هماهنگ دوم ۵۳۲ نانومتر استفاده شده است. نمونه در راستای محور z در مجاورت کانون با فاصله کانونی ۵ سانتی متر حرکت می کند (جهت z+ جهت



[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04 ]

انتشار نور لیزر است)[۴]. شدت عبوری توسط یک فوتودیود آشکار سازی می شود. نمونه مورد نظر همان محلول ۰/۱ مولار در یک سل با ضخامت ۱ میلیمتر ریخته می شود.

طول موثر نمونه $L_{eff}$ از رابطه زیر بدست می آید:

$$L_{eff} = \left(1-e^{-\alpha L}\right)\Big/\alpha \qquad (۲)$$

که $\alpha$ جذب خطی نمونه در توان های پایین لیزری می باشد و عبارتند از:

$$\alpha = -\frac{1}{L} Ln\left(\frac{P}{P_0}\right) \qquad (۳)$$

که P و .P توان خروجی لیزر در حالت با نمونه و بدون نمونه می باشد. توان اولیه لیزر در حالت بدون نمونه برابر ۵۵ میلی وات است. در این آزمایش شدت پرتوی لیزری $I_0(W/cm^2)$ و $\omega_0$ برابر ۲۴۹۳ /۷ و ۳۷ میکرومتر می باشد و دریچه در فاصله ۱۲۰ سانتیمتری صفحه کانونی قرار گرفته است. شکل ۲ منحنی بهنجار شده دریچه بسته نمونه های مورد نظر را نشان می دهد. از آنجا که یک دره بعد از قله در این منحنی ها بدست آمده می توان استنتاج کرد که علامت ضریب شکست غیرخطی نانوکامپوزیت های $PUCC/Al_2O_3$ منفی می باشد که اثر خودکانونگی (SELF-FOCUSING) را دربردارند. با استفاده از رابطه ۱ مقدار ضریب شکست غیرخطی نمونه ها بدست می آید که در جدول ۱ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش درصد وزنی نانوذرات آلومینا از ۰٫۰wt% تا ۱٫۰wt% درون پلی‌یورتان، ضریب شکست غیرخطی افزایش می‌یابد ولی با افزایش مقدار درصد وزنی از ۱٫۰wt% تا ۲٫۰wt% این آثار دچار کاهش می‌شود. ضریب شکست غیرخطی نمونه ها از مرتبه $۱۰^{-۸}$ $\left(cm^2/W\right)$ می باشد.

با استفاده از چیدمان دریچه باز ضریب جذب غیرخطی، $\beta$، بدست می آید. برای فرآیندهای شامل جذب القایی $\beta \succ 0$ و فرآیندهای گذار القایی یا اشباع جذب القایی $\beta \prec 0$ می باشد. مقدار $\beta$ با برازش کردن نمودارهای دریچه باز با روابط زیر بدست می آید.

$$T_{norm}(z) = \frac{\ln\left(1+q_0(z,t)\right)}{q_0(z,t)} \qquad (۴)$$

$$q_0(z,t) = \frac{\beta I_0 L_{eff}}{1+z^2/z_0^2} \qquad (۵)$$

که در آن $z_0 = k\omega_0^2/2$ طول پراش پرتو و $k = 2\pi/\lambda$ بردار موج است. منحنی گذار نرمالیزه دریچه باز نسبت به نقطه کانون یا $(z=0)$ متقارن می باشد (شکل ۳). مقادیر جذب غیرخطی نمونه ها در جدول ۱ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش درصد وزنی نانوذرات آلومینا از ۰٫۰wt% تا ۱٫۰wt% درون پلی‌یورتان، ضریب شکست غیرخطی افزایش می‌یابد ولی با افزایش مقدار درصد وزنی از ۱٫۰wt% تا ۲٫۰wt% این آثار دچار کاهش می‌شود. ضریب جذب غیرخطی نمونه ها از مرتبه $۱۰^{-۵}$ $\left(cm/W\right)$ می باشد.

جدول ۱: تعیین مشخصات اپتیک غیرخطی نانوکامپوزیت های PUCC/Al۲O۳

| Sample | $\Delta T$ | $\alpha(\mathrm{cm}^{-1})$ | $n_2\times10^{-8}$ $(\mathrm{cm}^2/W)$ | $\beta\times10^{-5}$ $(cm/W)$ |
|---|---|---|---|---|
| ۰%$Al_2O_3$ | ۰٫۰۱۹ | ۰٫٦٦٥٧ | ۰٫۱۷٥٦ | ۸٫۲۷ |
| ۱٪$Al_2O_3$ | ۰٫۱۰۸ | ۰٫۲۳٥۲ | ۰٫۹۸٤۰ | ۱۳۸٫٥ |
| ۱٫٥٪$Al_2O_3$ | ۰٫۱۰۸ | ۰٫۱۸۹۰ | ۰٫۹۸۲٤ | ۱۳۳٫٥ |
| ۲٪$Al_2O_3$ | ۰٫۰٤۰ | ۰٫۲٦۰٦ | ۰٫۳٦٤۹ | ۱۰۰ |

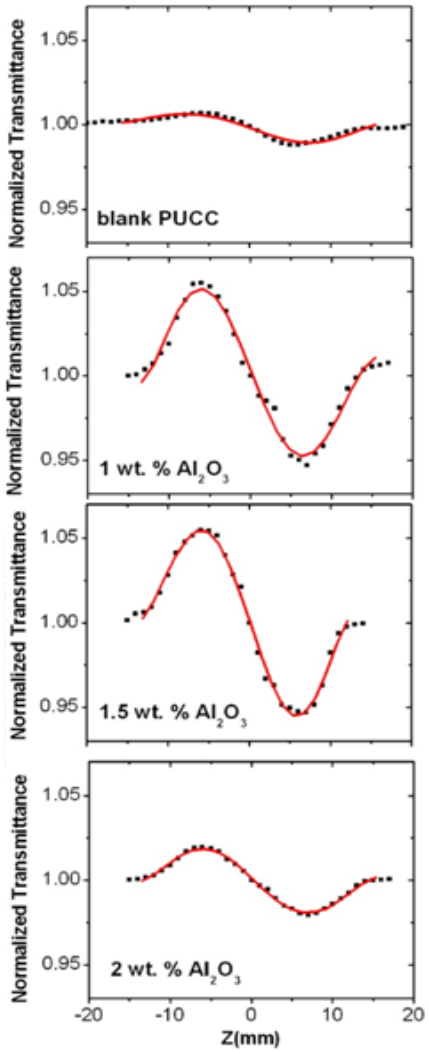
در موادی که ضریب جذب خطی آن‌ها حدود $۱\ \mathrm{cm}^{-۱}$ باشد و ضریب شکست غیرخطی از مرتبه‌ی $10^{-5}-10^{-7}\ cm^2/W$ باشد و البته نمونه بصورت محلول تحت لیزر پیوسته قرار گیرد می‌توان ادعا کرد که منشاء آثار غیرخطی برای ضریب شکست آثار حرارتی می‌باشد [۶]. از آنجا که نمونه‌ها به مدت بسیار محدودی در مقابل منبع لیزری قرار می‌گیرند، تغییرات دمایی بسیار ناچیز و فقط منجر به تغییرات ضریب شکست نمونه‌ها می‌گردد. با افزوده شدن نانوذرات آلومینا از ۱٫۰wt% تا ۲٫۰wt% و ایجاد پیوند Al-O-C و Al-O در نمونه‌ها منجر به افزایش طول زنجیره‌ی اصلی پلیمری می‌شود. افزایش طول زنجیره در مواد پلیمری موجب کاهش آثار غیرخطی می-گردد. این امر ارتباط تنگاتنگی با چرخش آرام‌تر مولکول-های زنجیره‌ی بلند پلیمری هنگام مواجه شدن با منبع نور لیزری دارد[۶].



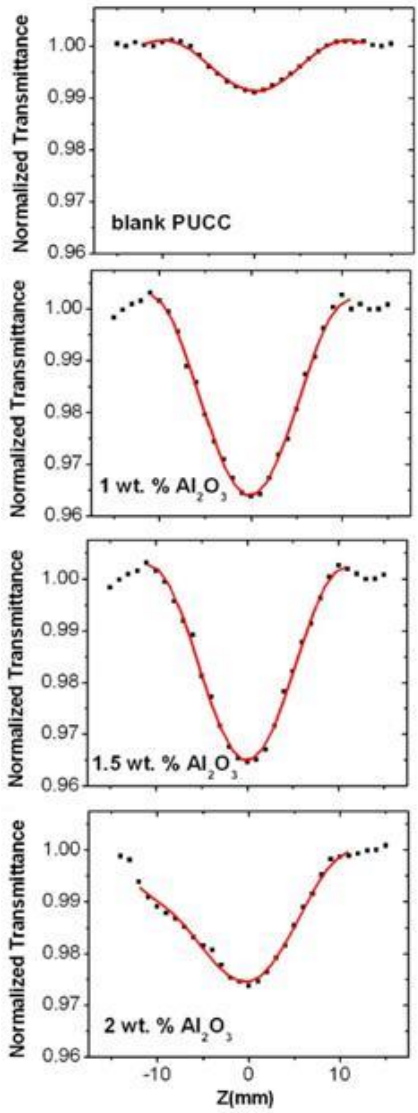
[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04 ]

## ۴- نتیجه گیری

نانوکامپوزیت پلی یورتان سلول بسته-آلومینا با روش مخلوط کردن فراهم گردید. تمام نمونه ها تحت آزمایش Z اسکن قرار گرفتند و ضرایب اپتیکی غیرخطی آنها از جمله ضریب شکست غیرخطی و ضریب جذب غیرخطی نمونه ها بدست آمد که به ترتیب از مرتبه $۱۰^{-۸}$ $\left(cm^2/W\right)$ و $۱۰^{-۵}\left(cm/W\right)$ بودند. نتایج نشان می‌دهد با افزایش درصد وزنی نانوذرات آلومینا از ۰٫۰wt% تا ۱٫۰wt% درون پلی‌یورتان، آثار غیرخطی افزایش می‌یابد ولی با افزایش مقدار درصد وزنی از ۱٫۰wt% تا ۲٫۰wt% این آثار دچار کاهش می‌شود.




شکل ۲: منحنی های تجربی Zاسکن دریچه بسته نانوکامپوزیت های پلی یورتان بسته و درصدهای وزنی مختل




شکل ۳: منحنی های تجربی Zاسکن دریچه باز نانوکامپوزیت های پلی یورتان بسته و درصدهای وزنی مختلف آلومینا

## مراجع


[۱] Boyd R.W., *Nonlinear Optics*, ۳th edition, p. ۲۲۰, Academic Press, ۲۰۰۳.

[۲] Zyss J. (Ed.), Molecular Nonlinear Optics: Materials, Physics and Devices; Academic Press, ۱۹۹٤.

[۳] Saleh B.E.A., Teich M.C., *Fundamentals of Photonics*; Wiley, ۱۹۹۱.

[٤] Wang J., Fan Y.X., Chen J., Gu B., Wang H.T., *Nonlinear properties of polyurethane-urea/multi-wall carbon nanotube composite films*, **Opt. Laser Technol.** ٤۲ (۲۰۱۰) ۹٥٦-۹٥۹.

[٥] Karidurаganavar M.Y., Tambe S.M., Tasaganva R.G., Kittur A.A., Kulkarni S.S., Inamdar S.R., *Studies on nonlinear optical polyurethanes containing heterocyclic chromophores*, **J. Mol. Struct**. ۹۸۷ (۲۰۱۱)۱٥۸-۱٦٥.

[٦] Van Stryland, E.W., Sheik-Bahae, M., *Characterization of nonlinear optical absorption and refraction*, **Prog. Crystal Growth Charac. Mater.** ۲۷ (۱۹۹۳) ۲۷۹-۳۱۱.


[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04 ]