

## بررسی خواص نوری غیرخطی نانو کامپوزیت کربوکسی متیل نشاسته توسط تکنیک جاروب Z با استفاده از لیزر Nd-YAG

مطیعی ، حمیده ؛ جعفری ، اکبر ؛ نادرعلی ، رحیم

گروه فیزیک دانشگاه ارومیه کیلومتر ۱۱ جاده نازلو صندوق پستی ۱۶۵

### چکیده

در این مقاله، خواص نوری غیرخطی (NLO) مرتبه سوم نانوکامپوزیت اصلاح شده کربوکسی متیل نشاسته را ارائه کرده ایم. نانو کامپوزیت کربوکسی متیل نشاسته توسط یک تکنیک شیمیایی سنتز شده است. پاسخهای نوری خطی این نمونه ها با استفاده از طیفسنجی UV-vis مطالعه و بررسی گردید. ضرایب جذب و شکست غیرخطی نانوکامپوزیت در دو حلال مختلف دی متیل فرم آمید (DMF) و N-متیل پیرولیدین (NMP) با روش جاروب Z با استفاده از خط هارمونیک دوم یک لیزر Nd-YAG پیوسته کار اندازه گیری شد. مقادیر اندازه گیری شده ی ضریب شکست غیر خطی در هر دو محلول DMF و NMP از مرتبه ی  $10^{-10} m^2/w$  بدست آمد.

## Nonlinear optical properties of carboxymethyl starch nanocomposite obtained by Z-scan technique using a Nd-YAG laser

Motiei, Hamideh; Jafari, Akbar, Naderali, Rahim

Department of Physics, University of Urmia, Urmia P.B.165,

### Abstract

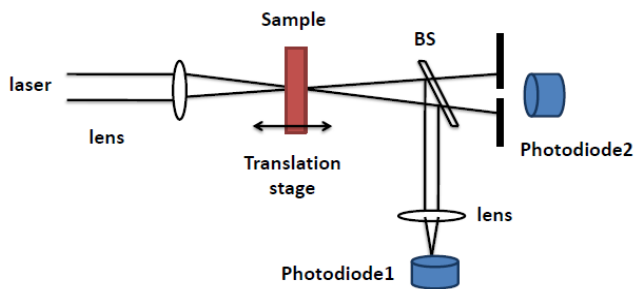
In this paper, we present the third-order nonlinear optical (NLO) properties of modified nanocomposite carboxymethyl starch (SCOOH). The nanocomposite of SCOOH has been synthesized by a chemical technique. Linear optical response of this sample was studied by using ultraviolet-visible (UV-vis) spectroscopy. Nonlinear refraction and absorption coefficients of the nanocomposite were measured in two different solvents, Dimethylformamide (DMF) and N-Methylpyrrolidone (NMP), by Z-scan method using second harmonics line of Nd-YAG laser. The measured values of nonlinear refraction in DMF and NMP solutions were from the order of  $10^{-10} m^2/w$

PACS No. 33

### مقدمه

پلیمرهای رسانا موادی هستند که دارای ترکیبی از خواص فلزات و پلاستیکها می باشند و قابلیت انجام واکنش های اکسیداسیون و احیاء به شدت برگشت پذیر را دارند [1]. از این میان پلی آنیلین به عنوان یکی از مهمترین پلیمرهای رسانا می باشد که توجه زیادی را به خود جلب کرده است. استفاده از این پلیمرها به دلیل ضعیف بودن فرآیندپذیری و خصلت مکانیکی ضعیف آن باعث شده است که استفاده صنعتی از این پلیمر با مشکلاتی مواجه

باشد [2]. با توجه به اهمیت پلی آنیلین و اصلاح خواص آن با ساخت کامپوزیت و نیز اهمیت نشاسته در ساخت کامپوزیت های تخریب پذیر، با اصلاح ساختار آن و متیل دار کردن آن کوپلیمری در مقیاس نانو از نشاسته کربوکسی متیل دار ساخته شد. بدلیل بکاربردن نشاسته کربوکسی متیل دار در کامپوزیت و افزایش خصلت قطبی و با افزایش هر چه بیشتر این پلیمرهای طبیعی در ماتریس پلی آنیلین حلالیت افزایش می یابد، بدون اینکه سایر خواص پلیمر نظیر رسانایی و خصوصیات حرارتی آن دچار نقصان



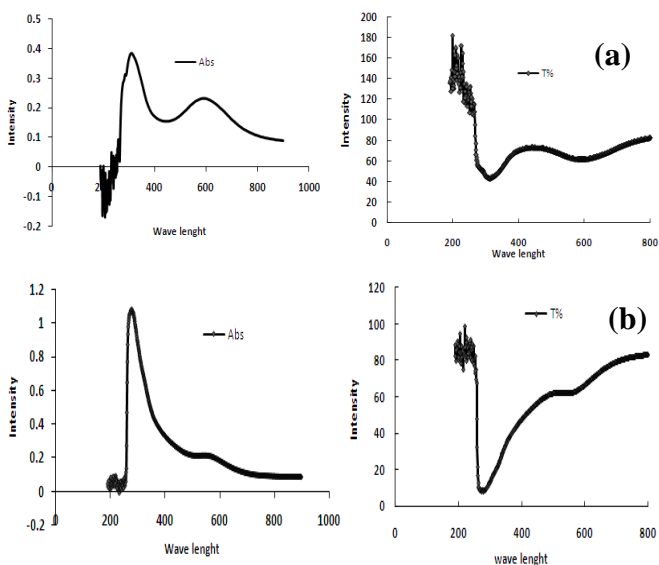
شکل ۱: طرح شماتیک از چیدمان آزمایشگاهی جاروب Z

## ۲.۲ طیف جذبی UV-vis

اندازه گیری های مربوط به طیف جذب خطی نانوکامپوزیت محلول در دو حلال DMF و NMP توسط طیف سنج UV-vis انجام شد. جذب کنندگی  $A$  و عبوردهی  $T$  نمونه در طول موج ۵۳۲ نانومتر از منحنی های شکل های ۲-a و ۲-b اندازه گیری

می شود. طبق رابطه ی  $\alpha = \frac{\ln\left(\frac{1-A}{T}\right)}{L}$  جذب خطی و

رابطه ی  $T_0 = \frac{1-A}{T}$  عبور خطی نمونه اندازه گیری و نتایج در جدول ۳ آورده شده است.



شکل ۲: طیف جذب و عبور نانوکامپوزیت SCOOH در حلالهای (a) NMP و (b) DMF

## ۳ بحث و بررسی

وقتی نمونه در راستای محور Z و روی ریل متحرک در معرض نور لیزر قرار گرفته و شروع به حرکت می کند، شدت پرتوی لیزر

قابل توجهی شود. این نانو مواد به طور گسترده در الکترونیک نوری، الکترونیک، پزشکی و فوتونیک به کار گرفته می شوند [3] و نیز در باتریهای نانو به عنوان ماده فعال کننده ی الکترودها، تعدیل کننده ها، کلید های نوری و غیره کاربرد دارند [4]. غیرخطیت مرتبه ی سوم در مواد رسانا به دلیل خواص متنوع آنها شامل جذب چند فوتونی، جذب حامل های آزاد، پراکندگی و شکست غیرخطی و غیره بسیار حائز اهمیت است [5]. جذب و ترتیب با استفاده از روش جاروب Z روزنه باز و روزنه بسته بررسی و تحلیل شده و پاسخهای نوری خطی این نمونه ها با استفاده از طیف سنجی UV-vis اندازه گیری گردید.

## ۲ اندازه گیری

### ۲.۱ اندازه گیری های NLO

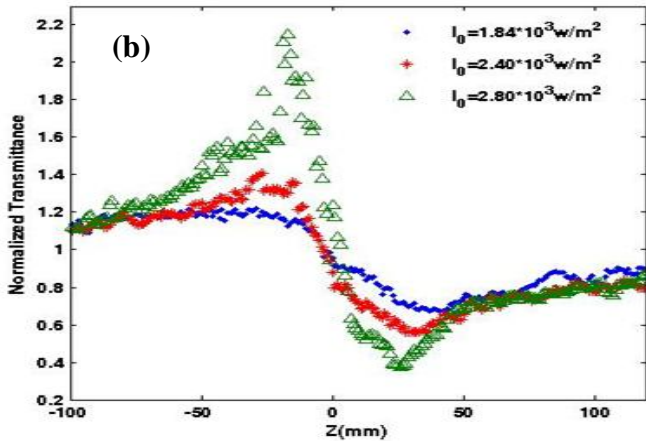
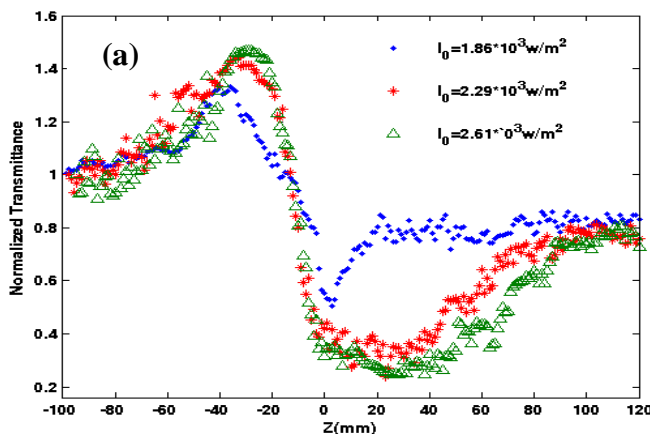
جذب و شکست نور یغی خطی نانوکامپوزیت در دو حلال مختلف به ترتیب با استفاده از روش جاروب Z روزنه باز و روزنه بسته بررسی و تحلیل کردیم. نانوکامپوزیت را در دو حلال DMF و NMP حل کرده و در یک سلول کوارتز با ضخامت ۴/۹ میلی متر می ریزیم. از یک لیزر Nd-YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر و شکل فضایی گوسین استفاده کردیم. جهت انتشار پرتو لیزر را محور Z انتخاب کردیم. طرح شماتیک از چیدمان آزمایشگاهی جاروب Z در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل BS شکافنده پرتو است، یک عدسی محدب با فاصله ی کانونی ۱۰ سانتی متر به منظور کانونی کردن پرتو لیزر استفاده کردیم. نمونه در راستای محور Z حرکت می کند. آشکارساز ۱ بدون روزنه، جذب وابسته به شدت (جذب غیرخطی) را اندازه گیری می کند و آشکارساز ۲ با روزنه، شکست غیرخطی را اندازه گیری می کند. ضخامت نمونه (۴/۹ mm) بسیار کوچکتر از طول رایلی پرتو (۱۳/۷mm) می باشد [6, 7].

جدول ۱: مقادیر ضریب شکست غیرخطی مربوط به محلول نانوکامپوزیت SCOOH و DMF در شدتهای مختلف نور لیزر.

$I_0(w/m^2)$	$1.86 \times 10^3$	$2.29 \times 10^3$	$2.61 \times 10^3$
$n_2 (m^2/w)$	$49.7 \times 10^{-10}$	$61.6 \times 10^{-10}$	$64.68 \times 10^{-10}$

جدول ۲: مقادیر ضریب شکست غیرخطی مربوط به محلول نانوکامپوزیت SCOOH و NMP در شدتهای مختلف نور لیزر.

$I_0(w/m^2)$	$1.84 \times 10^3$	$2.40 \times 10^3$	$2.802 \times 10^3$
$n_2 (m^2/w)$	$30.62 \times 10^{-10}$	$66.05 \times 10^{-10}$	$69.68 \times 10^{-10}$



شکل ۳: منحنی‌های جاروب Z روزنه بسته محلول‌های (a) نانوکامپوزیت با DMF (b): نانوکامپوزیت با NMP.

شکل‌های a-4 و b-4 نیز ضریب جذب غیرخطی نانوکامپوزیت در دو حلال مختلف را نشان می‌دهند.

با تجزیه و تحلیل منحنی‌ها، مقادیر ضریب جذب غیرخطی مربوط به شدت‌های  $1/86 \text{ kw/m}^2$  و  $2/76 \text{ kw/m}^2$  را به ترتیب برای محلول‌های شامل DMF و NMP محاسبه کردیم. در این

بر روی آشکارساز بواسطه‌ی پاسخ غیرخطی محیط مادی و بدلیل اثر کر ایجاد شده وابسته به شدت در نانوکامپوزیت تغییر خواهد کرد. منحنی‌های روزنه بسته جاروب Z، شکل‌های a-3 و b-3 وابستگی سیگنال پراکنده شده به شدت را به ازاء شدت‌های مختلف در روش روزنه بسته نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها یک حداکثر قبل از کانون (قله) و به دنبال آن یک حداقل پس از کانون (دره) داریم که بترتیب نشان‌دهنده‌ی منفی بودن ضریب شکست و اثر خود واکانونی است. با مطالعه‌ی ضریب شکست وابسته به شدت نانوکامپوزیت SCOOH در دو حلال مختلف DMF و NMP مشاهده کردیم که با افزایش شدت پرتوی لیزر اختلاف فاصله‌ی قله-دره افزایش یافته و تقارن قله-دره بهبود می‌یابد. اندازه و علامت شیفت فازی غیرخطی را از تغییر در عبور نرمالیزه  $\Delta T_{p-v}$  و مکان قله و دره می‌توان تعیین کرد، که از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید [8, 9].

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

در این رابطه، S گذار خطی روزنه است و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود،

$$S = 1 - \exp\left(\frac{-2r_a^2}{\omega_a^2}\right) \quad (2)$$

در اینجا،  $r_a$  و  $\omega_a$  به ترتیب شعاع روزنه و شعاع پرتو در روزنه هستند. ضریب شکست غیرخطی با رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود.

$$n_2 = \frac{\Delta\phi}{kI_0L_{eff}} \quad (3)$$

که در آن  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  بردار موج است ( $\lambda$  طول موج لیزر میباشد).  $I_0$  شدت پرتو لیزر در کانون ( $Z=0$ ) است.

$L_{eff} = \frac{1-e^{-\alpha L}}{\alpha}$  طول موثر نمونه و  $\alpha$  ضریب جذب خطی

است. مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی ضریب شکست غیرخطی SCOOH در DMF و NMP به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

که  $\Delta T(z)$  عبور نرمال برای نمونه در  $Z$  است و  $Z_0 = \frac{k\omega_0^2}{2}$  طول پراکندگی رایلی و  $\omega_0$  پهنای پرتو در نقطه ی کانون می باشد. مقادیر  $q_0$  منحنی های شکل 4 به ترتیب عبارتند از ۰/۵۳۱ و ۲/۷۹۹. ضریب جذب غیرخطی با استفاده از رابطه ی زیر محاسبه می شود [10, 11].

$$q_0 = \beta I_0 L_{eff} \quad (5)$$

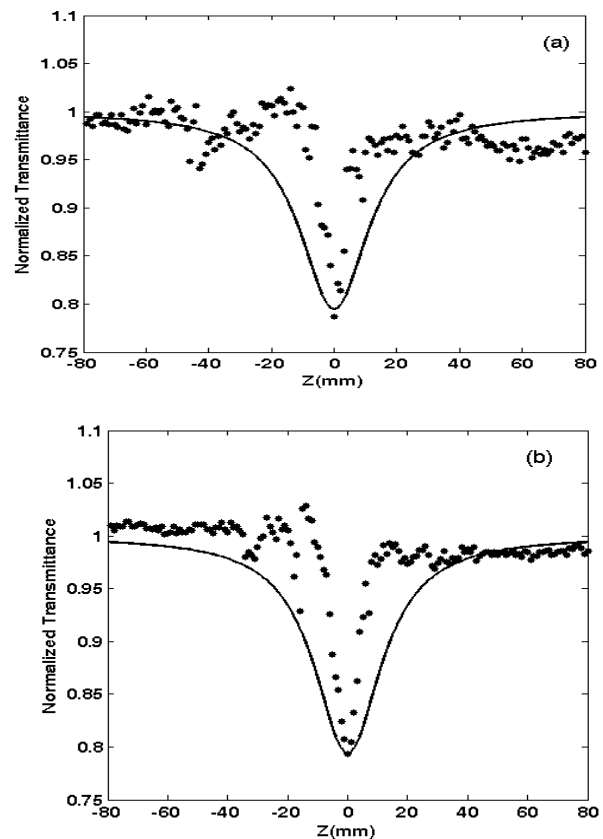
#### ۴ نتیجه گیری

در این مقاله، خواص نوری غیرخطی مرتبه ۳ نانوکامپوزیت SCOOH را ارائه کردیم. نانوکامپوزیت در دو حلال مختلف (DMF و NMP) تا حد زیادی حل شد و با استفاده از روشهای روزنه باز و روزنه بسته ی تکنیک جاروب  $Z$  و استفاده از لیزر Nd-YAG پیوسته کار با طول موج ۵۳۲ نانومتر مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. ضرایب جذب غیرخطی به خوبی از تطابق بین داده های تجربی و تئوری در روش روزنه باز بدست آمد. مقادیر ضریب شکست غیرخطی نیز در هر دو نمونه محلول از مرتبه ی  $10^{-10} m^2/w$  بدست آمدند. منحنی های ضریب شکست به شکل ابتدا قله و سپس دره دلالت بر منفی بودن ضریب شکست غیرخطی و ظهور اثر خود واکانونی هستند که در هر دو نمونه مشاهده گردید. از این نانو کامپوزیت می توان در شاخه های الکترونیک نوری، الکترونیک، پزشکی، فوتونیک و به عنوان ماده فعال در ابزارهای نوری-الکتریکی و تعدیل کننده ها و کلید های نوری و غیره بهره برد.

#### مرجع ها

- [1] R. Balint, N. J. Cassidy, S. H. Cartmell. *Acta Biomaterialia* **10** (2014) 2341–2353.
- [2] Ć. Marjanović, Gordana, *Synthetic Metals* **177** (2013) 1-47.
- [3] W. Jiaojiao, F. Miao, Z. Hongbing. *Optics & Laser Technology* **57** (2014) 84–89.
- [4] R. Agarwal, C.M. Lieber, *Appl. Phys.* **85** (2006) 209.
- [5] J. Wang, WJ. Blau. *Journal of Optics A* **11** (2009)(2):24001.
- [6] R. W. Boyd, *Nonlinear Optics* (Academic, San Diego, (1992).
- [7] J. Rajeev Gandhi<sup>a</sup>, M. Rathnakumari<sup>a</sup>, K. Ramamurthi<sup>b</sup>, R. Ramesh Babu<sup>c</sup>, D. Sastikumar<sup>d</sup>, P. Sureshkumar *Optik*. **6462–6465** (2014).
- [8] M.G.Kuzyk, C.W. Dirk *Characterization Techniques and Tabulations for Organic Nonlinear Materials*, **655–692** (1998).
- [9] T.C. SabariGirisun, S. Dhanuskodi. *Res.Technol.* **44**, (2009)1297–1302.
- [10] M. Sheik-Bahae, A. A. Said, and E. W. Van Stryland, *Opt. Lett.* **14**, (1989) 955.
- [11] M. Sheik-Bahae and A. A. Said, Wei, Tai-Huei, et al., *IEEE J. Quantum Electron.* **26**, (1990) 760.

مورد نیز با افزایش شدت ورودی مشاهده کردیم که جذب غیرخطی به طور کامل از بین می رود.



شکل ۴: منحنیهای جاروب  $Z$  روزنه باز نانوکامپوزیت حل شده در (a) DMF با شدت ورودی لیزر  $1/86 \text{ kw/m}^2$  و (b) در NMP با شدت ورودی لیزر  $2/76 \text{ kw/m}^2$ . مقادیر اندازه گیری شده ی ضرایب جذب غیرخطی SCOOH در DMF و NMP که از تطابق بین داده های تجربی با تئوری در روش روزنه باز بدست می آید در جدول ۳ آورده شده است. جدول ۳: ضرایب جذب خطی و غیرخطی  $(\alpha, \beta)$  پلی آنیلین کربوکسی متیل نشاسته در حلال های مختلف.

حلال	$T_0(\%)$	$\alpha(\text{cm}^{-1})$	$\beta(\text{cm}^2/\text{W})$
DMF	65.5	4.182	13.72
NMP	62.1	4.128	10.52

تغییرات نرمال شدت عبور در روش روزنه باز با استفاده از رابطه ی زیر قابل محاسبه است.

$$\Delta T(z) \approx \frac{q_0}{2\sqrt{2}} \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2\right)} \quad (4)$$