بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

# تصویربرداری نوری از محیط‌های کدر و بازسازی تصویر با استفاده از الگوریتم تکرار

افسانه عموعلی، معصومه دشتدار، سمیرا ابراهیمی

دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران

**چکیده – تصویربرداری نوری از محیط‌های کدر و دارای پیچیدگی یکی از چالش‌های میکروسکوپ‌های نوری به شمار می‌رود. نور عبوری از نمونه‌های ناهمگن مانند سلول‌های زیستی پراکنده می‌شود و تشکیل پیسه می‌دهد. در این مقاله روشی بر پایه‌ی اثر اپتیکی *shower-curtain* در فضای فوریه برای تصویرگیری از اجسام پنهان‌شده در پشت لایه‌های پراکننده و ارتقاء کیفیت تصاویر ثبت شده معرفی شده است. با به کارگیری یک الگوریتم بازیابی فاز بر روی خودهمبستگی الگوی پیسه‌های تشکیل شده می توان به اطلاعات شیء اولیه دست یافت.**

کلید واژه- الگوریتم بازیابی فاز، پیسه‌ها، تصویربرداری، خودهمبستگی، لایه‌های پراکننده.

# Optical imaging through turbid media and image reconstruction using iterative algorithm

Afsane Amouali, Masoomeh Dashtdar, Samira Ebrahimi

Department of Physics, Shahid Beheshti University, Evin, Tehran

Abstract- Optical imaging through turbid and scattering layers is a challenge in optical microscopy. The light passing through the inhomogeneous samples including biological cells is scattered and speckle pattern appears. In this paper, a method is introduced based on Fourier-domain shower-curtain effect for imaging of objects and resolution enhancement of the recorded images in scattering media. The information of the object can be reconstructed from the autocorrelation of speckle patterns by a phase retrieval algorithm.

Keywords: autocorrelation, imaging, phase retrieval algorithm, scattering layers, speckles.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-01-08 ]



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

## ۱- مقدمه

تصویربرداری از محیط‌های کدر و پراکننده یکی از بزرگترین مسائل حال حاضر در اپتیک است وکاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف از پزشکی و زیست‌شناسی تا مهندسی و نانوتکنولوژی دارد[۱]. با عبور نور از نمونه‌های پیچیده مانند بافت‌های زنده پراکندگی ایجاد می‌شود و نور فرودی تشکیل الگوهای پیسه‌ای می دهد که منجر به کاهش توان تفکیک و عمق نفوذ می‌گردد. برای تصویرگیری در چنین محیط‌هایی تا کنون روش های مختلفی مانند تصویربرداری روح *ghost* (*Imaging*) [۲]، شکل‌دهی جبهه موج *wavefront* (*shaping*) [۳]، اثر حافظه (*memory effect*) [۴]، همیوغ فاز (*phase conjugation*) [۵] و وارون ماتریس پراکندگی (*scattering matrix inversion*) [۶] پیشنهاد شده و پیشرفت های زیادی در این زمینه انجام شده است. مشکل عمده‌ی بیشتر روش‌های پیشنهادی محدودیت آن‌ها در بررسی نمونه‌های زنده و در حال حرکت است و اغلب در این شرایط تصویر بازسازی شده فاقد توان تفکیک کافی است. برای رفع این محدودیت می‌توان از اثری کاملاً اپتیکی به نام (SCE) "*shower-curtain effect*" استفاده کرد. با این روش امکان تصویربرداری از نمونه‌هایی که در پشت لایه‌های کدر با ضخامت چندین میلیمتر قرار گرفته‌اند، وجود دارد [۷].

در این مقاله با استفاده از چیدمانی اپتیکی به تصویربرداری از اجسامی پرداخته شده که در بین دو سطح ناصاف قرار گرفته اند. همچنین نشان داده شده است که با بکارگیری (*SCE*) می‌توان کیفیت تصاویر بازسازی شده را ارتقاء داد. رهیافت تصویربرداری از محیط پراکننده برپایه‌ی بازسازی تبدیل فوریه‌ی شیء با روش همبستگی توزیع شدت پیسه‌ای است. این روش بدون نیاز به چیدمان‌های پیچیده و تنها با استفاده از قطعات اپتیکی ساده تصویربرداری در ضخامت-های میلیمتری از بافت‌های زنده را امکان‌پذیر می‌کند که از نیازهای تصویربرداری پزشکی برای تشخیص بسیاری از بیماری‌ها بدون استفاده از امواج مخرب ایکس و فرابنفش است.

## ۲- تئوری

پخش‌کننده‌های نور ابزاری هستند که باعث پراکندگی و منحرف شدن نور از مسیر اصلی می‌شوند که از آن‌ها برای شبیه‌سازی پراکندگی در فضای واقعی استفاده شده است. از نقطه نظر اپتیکی و براساس *SCE* این قطعات اپتیکی همانند یک فیلتر عمل می کنند که فرکانس قطع در آن‌ها وابسته به فاصله‌ی شیء و پخش‌کننده است. با کاهش فاصله، فرکانس قطع افزایش می یابد.

هنگامی‌که یک پرتوی تکفام و همدوس نور لیزر از یک پخش کننده و سپس شیء عبور می‌کند، الگویی از پیسه‌ها تشکیل می‌شوند که بنابر اثر حافظه با یکدیگر همبسته اند و اطلاعات شیء در آن‌ها وجود دارد [۴]. میدان شیء پیسه‌ای بلافاصله بعد از شیء برابر همگشت شیء O(x,y)در تابع پاسخ ضربه‌ی پیکربندی خاصی از پیسه‌ها S(x,y)است،

$$f_n(x,y) = O(x,y) * S_n(x,y) \qquad [1]$$

که n به الگوی خاص پیسه‌ها اشاره دارد. پس از انتشار به میدان دور تبدیل فوریه‌ی دوبعدی از میدان شیء پیسه‌ای، $\tilde{F}[f_n(x,y)]$، بدست می آید. می‌توان نشان داد تبدیل فوریه‌ی وارون از $\left|\tilde{F}[f_n(x,y)]\right|^2$ برابر با تابع خودهمبستگی میدان شیء پیسه‌ای (ac) است،

$$\tilde{F}^{-1}\left|\tilde{F}[f_n(x,y)]\right|^2 = f_n(x,y) \star f_n(x,y). \qquad [2]$$

با جایگذاری رابطه‌ی (۱) در (۲) و میانگین‌گیری بر روی N الگوی پیسه‌ای مستقل به رابطه‌ی زیر می‌رسیم،

$$\Sigma\left|f_n(x,y) \star f_n(x,y)\right|^2 = \alpha\left|O(x,y)\right|^2 \star \left|O(x,y)\right|^2 * \sum_{n=1}^{N}\left|S_n(x,y) \star S_n(x,y)\right|^2 \qquad [3]$$

اگر N خیلی بزرگ باشد، $\sum_{n=1}^{N}\left|S_n(x,y) * S_n(x,y)\right|^2$ را می‌توان مانند یک تابع دلتا در نظر گرفت و در نتیجه تابع خودهمبستگی در رابطه‌ی (۲) برابر همگشت شیء است. با استفاده از یک الگوریتم بازیابی فاز (الگوریتم *Fienup*) می توان تصویر شیء را بدست آورد [۸].

## ۳- چیدمان و روش انجام آزمایش

چیدمان آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. نور لیزر هلیوم- نئون (طول موج ۶۳۲/۸ نانومتر، توان خروجی 10



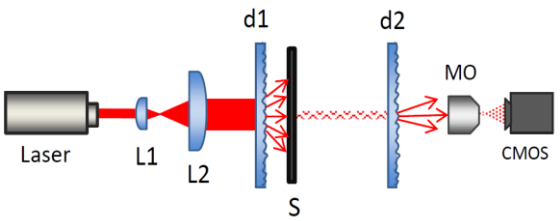
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-01-08 ]

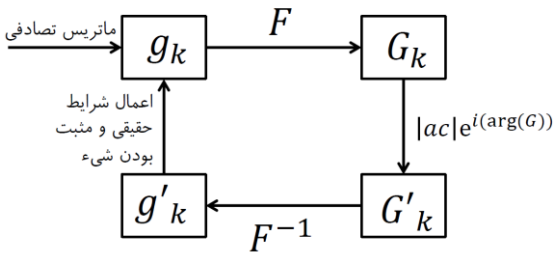
mW) با استفاده از دو عدسی موازی می شود و پس از عبور از یک سطح ناصاف (d1) که با پودری با شماره مش ۲۵۰(#) ناصاف شده است، نمونه(S) را روشن می کند. نونه ماسک‌هایی است که با روش فوتولیتوگرافی تهیه شده اند. سطح ناصاف دیگری (d2) که با پ.دری با شماره مش ۴۰۰(#) ناصاف شده است، به عنوان محیط کدر (turbid) در فاصله ی 12 سانتی متری نسبت به نمونه قرار می گیرد. با استفاده از یک عدسی شیئی میکروسکوپ با بزرگنمایی ۴x (MO) تصویر سطح ناصاف دوم روی آشکارساز CMOS (BFLY-U3-23S6M-C با اندازه پیکسل 5.86 میکرومتر) ثبت می شود. هر دو سطح ناصاف روی یک میکروجابه‌جاگر خطی سوار شدند و امکان جابه‌جایی در راستای عمود بر محور نوری را دارند. با جابه‌جایی سطح ناصاف اول در راستای عمود بر محور نوری ۳۰۰۰ فریم با نرخ ثبت ۲۰ فریم بر ثانیه (*fps*) توسط آشکارساز ثبت می‌شود.

اگر سطح پراکننده در مسیر باریکه همدوس نور لیزر قرار گیرد، همدوسی فضایی به اندازه پیسه ها کاهش می یابد. بنابراین با تنظیم شعاع همبستگی پیسه‌های تشکیل شده می توان تقریب میدان دور (فرانهوفر) را برای فواصلی در مرتبه پراش فرنل برقرار و از اطلاعات موجود در طیف فوریه-ی پیسه‌ها برای بازسازی تصویر شیء استفاده کرد.

مطابق با رابطه‌ی (۲) با میانگین‌گیری از تصاویر پیسه‌ای در فضای فوریه و اعمال یک فیلتر جریان تاریک (DC)




شکل ۱: چیدمان آزمایش.




شکل 2: الگوریتم بازیابی فاز.

برای حذف شدت زمینه، تابع خودهمبستگی پیسه‌ها بدست می‌آید و سپس توسط یک فیلتر پنجره‌ای (*Tukey Window*) هموار می‌شود. تصویر بدست آمده مطابق با شکل ۲ وارد الگوریتم *Hybrid Input-Output* (*HIO*) می‌شود. $k$ نشان دهنده‌ی تعداد تکرار است و پارامتر $\beta$ ضریبی است که در الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای بهترین بازسازی متغیر در نظر گرفته شده است (k=10 و $\beta$ از ۲ تا ۰ با گام های ۰٫۰۵). در مرحله‌ی آخر با بکارگیری یک الگوریتم کاهش خطا (*Error-reduction*) بازسازی نهایی تصویر انجام و نتیجه توسط یک فیلتر گاوسی هموار می‌گردد. نتایج حاصل در شکل ۳ نشان داده شده است.

با جابه‌جایی d2 در راستایی عمود بر محور نوری مشاهده شد که تغییر چندانی در توان تفکیک تصویر ثبت شده ایجاد نمی‌شود.

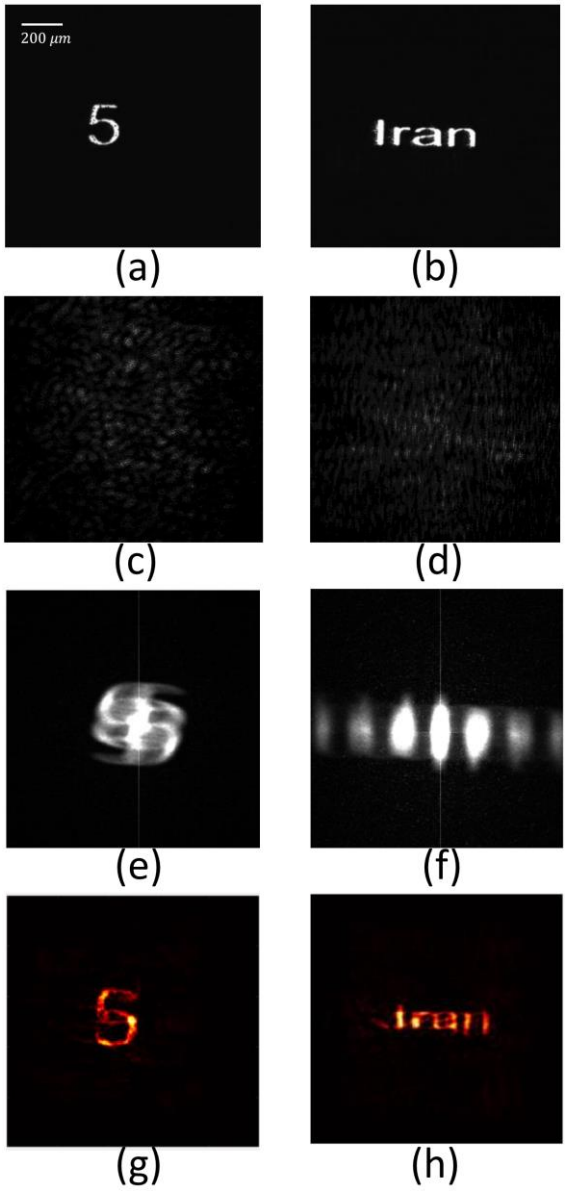
## ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله با ثبت الگوی پیسه از اجسام با ابعاد میکرون پرداخته شده که بین دو سطح ناصاف قرار گرفته‌اند، تصویربرداری شده است. با استفاده از خودهمبستگی میانگین الگوهای مختلف پیسه و الگوریتم بازیابی فاز HIO و ER در نرم افزار matlab تصویر پنهان شده میان دو سطح d1 و d2 بازسازی شد. نشان دادیم با جابه‌جایی سطح ناصاف دوم در راستای عمود بر محور نوری تغییری در توان تفکیک تصویر بازسازی شده ایجاد نمی‌شود. از این چیدمان ساده و غیرمخرب می‌توان در پزشکی برای بازیابی اطلاعات دامنه و فاز نمونه‌های دینامیکی و سلول‌های زیستی که در پشت لایه‌های پراکننده قرار گرفته‌اند استفاده کرد.



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-01-08 ]




شکل 3: نتایج بازسازی تصاویر، (a,b) تصویر نمونه بدون d1 و d2، (c,d) تصاویر ثبت شده از پیسه‌ها در حضور d1 و d2 ، (e,f) خودهمبستگی حاصل از میانگین ۳۰۰۰ فریم ثبت شده، و (g,h) تصویر بازسازی شده نهایی از الگوریتم بازیابی فاز.

## سپاسگزاری

از آقای مهدی خاموشی که ما را در برنامه‌نویسی رایانه‌ای این پژوهش یاری نمودند کمال تشکر را داریم.

## مراجع

[۱] V. Ntziachristos, "Going deeper than microscopy: the optical imaging frontier in biology," *Nature methods*, vol. ۷,No.8, pp. ۶۱۴-۶۰۳, ۲۰۱۰.

[۲] D. Strekalov, A. Sergienko, D. Klyshko, and Y. Shih, "Observation of two-photon “ghost” interference and diffraction," *Physical review letters*, vol. ۷۴,No.18, p. ۳۶۰۰, ۱۹۹۵.

[۳] A. P. Mosk, A. Lagendijk, G. Lerosey, and M. Fink, "Controlling waves in space and time for imaging and focusing in complex media," *Nature photonics*, vol. ۶,No.5, pp. ۲۹۲-۲۸۳, ۲۰۱۲.

[۴] E. Edrei and G .Scarcelli, "Memory-effect based deconvolution microscopy for super-resolution imaging through scattering media," *Scientific Reports*, vol. ۶, ۲۰۱۶.

[۵] Z. Yaqoob, D. Psaltis, M. S. Feld, and C. Yang, "Optical phase conjugation for turbidity suppression in biological samples," *Nature photonics*, vol. ۲,No.2, pp. ۱۱۵-۱۱۰, ۲۰۰۸.

[۶] S. Popoff, G. Lerosey, R. Carminati, M. Fink, A. Boccara, and S. Gigan, "Measuring the transmission matrix in optics: an approach to the study and control of light propagation in disordered media," *Physical review letters*, vol. ۱۰۴,No.10, p. ۱۰۰۶۰۱, ۲۰۱۰.

[۷] E. Edrei and G. Scarcelli, "Optical imaging through dynamic turbid media using the Fourier-domain shower-curtain effect," *Optica*, vol. ۳,No.1, pp. ۷۴-۷۱, ۲۰۱۶.

[۸] J. R. Fienup, "Phase retrieval algorithms: a comparison," *Applied optics*, vol. ۲۱,No.15, pp. ۲۷۶۹-۲۷۵۸, ۱۹۸۲.



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-01-08 ]