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 توزیع فضایی شدت نور با به کارگیری پخش‌کننده نوری در چیدمان رنگ‌سنجی میکروسکوپی

ندا روستائی[۱]، نزار شنان[۱و۲]، محمد مصلح[۱] و سیده مهری حمیدی[۱*]

[۱]آزمایشگاه مگنتوپلاسمونیک، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
[۲] دانشکده زنان در لیزر، دانشگاه بابل، عراق

چکیده - پخش‌کننده‌های نوری، ابزارهای اپتیکی هستند که از طریق پراکندگی نامنظم نور موجب یکنواخت شدن توزیع فضایی نور می‌شوند. در این پژوهش، یک پخش‌کننده نوری با به‌کارگیری پودر سرامیک سیلیکون کاربید تولید شده است و با قرار دادن پخش‌کننده در مسیر اپتیکی چیدمان رنگ سنجی میکرو سکوپ عبوری نوری، توزیع فضایی شدت نور مورد بررسی قرار گرفته است. با قرار دادن پخش‌کننده نوری در مسیر نور، توزیع فضایی شدت نور، یکنواخت و متقارن شده است و نمودارهای توزیع شدت منطبق بر توزیع گاوسین حاصل شده است. در نهایت، نمونه دوبعدی برپایه بستره پلیمری تولید شده و جهت رنگ سنجی و تصویربرداری در این چیدمان تجربی به کار رفته است.

کلید واژه- میکروسکوپ نوری، توزیع شدت، پخش‌کننده نوری، تصویربرداری اپتیکی.

Investigation of spatial intensity distribution by using an optical diffuser in the Micro colorimetry microscope

N. Roostaei, N. S. Shnan, M. Mosleh, and S. M. Hamidi*
Magneto-plasmonic Lab, Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran. *m_hamidi@sbu.ac.ir
Women in laser science, Babylon University, Babel, Iraq.

Abstract- Optical diffusers are optical elements that smooth the spatial distribution of light through irregular light scattering. Recently, the fabrication and engineering of optical diffusers has attracted many attentions. In this research, an optical diffuser was fabricated using silicon carbide ceramic powder and by placing the diffuser in the optical path of the experimental setup of optical transmission microscope, the spatial intensity distribution has been investigated. The spatial intensity distribution was uniform and symmetrical, and the intensity distribution diagrams are achieved corresponding to the Gaussian distribution. Finally, a two-dimensional sample based on polymeric substrate was fabricated and used for colorimetry and imaging in this experimental setup.

Keywords: Optical microscope, intensity distribution, optical diffuser, optical imaging.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

مقدمه

پخش‌کننده‌های نوری، ابزارهای اپتیکی هستند که به منظور یکنواخت کردن فضایی و یا به اصطلاح نرم کردن نور به کار می‌روند. در واقع، هنگامی‌که نور قبل از فرودآمدن به نمونه موردنظر، غیریکنواخت ویا حامل طرحواره و تصویر باشد، باعث سوار شدن نویز بر روی داده اصلی خواهد شد. به عنوان مثال، هنگامی‌که از یک منبع نوری با توزیع نور غیریکنواخت استفاده می‌شود و یا طرحواره‌ای در مسیر عبور نور بر روی پروفایل نور سوار می‌شود باید انتظار بسیاری از نوفه‌ها و یا اعوجاج‌ها را داشت.

پخش‌کننده‌های نوری متشکل از مجموعه‌ای از پراکننده‌ها هستند که از طریق پراکندگی و شکست چندگانه نور موجب یکنواخت شدن توزیع فضایی شدت نور می‌گردند. این ابزارهای نوری از طریق پراکندگی نامنظم نور هرگونه طرح و تصویر بر روی لکه نوری را از بین می‌برند و با پخش کردن نور فرودی در جهت‌های مختلف موجب ایجاد توزیع یکنواخت نور می‌شوند. اگرچه انواع مختلفی از پخش‌کننده‌ها وجود دارد، اما رایج‌ترین آنها متشکل از پراکننده‌های آلی و یا غیرآلی هستند که در یک فیلم پلاستیکی تعبیه شده‌اند و بر اساس پراکندگی و شکست چندگانه نور عمل می‌کنند. معمولا قرار دادن یک جسم سفید دارای عبوردهی نوری، مانند کاغذ، یک توزیع نور یکنواخت فراهم می‌کند، اما در بسیاری از موارد نرم کردن نور با این اجسام باعث از دست رفتن بیشتر شدت نور می‌گردد. اخیرا ساخت و مهندسی کردن پخش‌کننده‌های نوری مورد توجه پژوهشگران واقع شده است [۲-۱]. پخش‌کننده‌های نوری مهندسی‌شده علاوه بر حفظ شدت نور، قابلیت‌های دیگری را نیز فراهم می‌کنند؛ به عنوان مثال می‌توان پخش‌کننده‌ای داشت که تنها بر محدوده‌ای خاص از طول‌موج‌ها تاثیرگذار است [۳]. از جمله کاربردهای این قطعه اپتیکی ساده می‌توان به تصویربرداری‌های نوری [۴]، هولوگرافی [۵] و نمایشگرهای بلور مایع [۶] اشاره کرد.

در این پژوهش، یک پخش‌کننده نوری با به‌کارگیری پودر سرامیک سیلیکون کاربید تولید شده است و با قرار دادن پخش‌کننده در مسیر اپتیکی چیدمان تجربی میکروسکوپ عبوری نوری، توزیع فضایی شدت نور مورد بررسی قرار گرفته است. به علاوه، نمونه دوبعدی بر پایه بستره پلیمری تولید شده است و جهت رنگ‌سنجی و تصویربرداری در چیدمان میکروسکوپی عبوری نوری استفاده شده است.

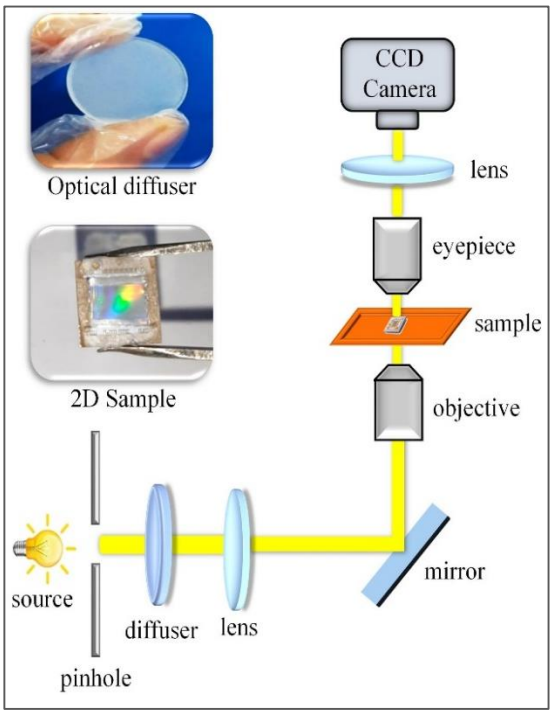
روش تجربی

از ساده‌ترین و متداول‌ترین نوع پخش‌کننده‌ها می‌توان به شیشه‌های با سطح غیرصاف اشاره کرد. در این پژوهش، با ساییدن مستقیم پودر سرامیک سیلیکون کاربید بر روی زیرلایه شیشه‌ای، یک پخش‌کننده نوری تولید شده است و در چیدمان تجربی میکروسکوپ عبوری نوری جهت یکنواخت کردن توزیع فضایی شدت نور مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است پودر سرامیک سیلیکون کاربید با توزیع اندازه ذرات ۱۵۰ میکرون و کوچکتر مورد استفاده قرار گرفته است. تصویر پخش‌کننده نوری تولید شده در پیوست شکل ۱ آورده شده است. همچنین آرایه شماتیک چیدمان تجربی میکروسکوپ عبوری نوری در شکل ۱ نشان داده شده است. در این چیدمان، نور پهن‌باند لامپ هالوژن به عنوان منبع نور به کار رفته است. پروفایل توزیع شدت لامپ هالوژن، غیریکنواخت و نامتقارن می‌باشد؛ جهت یکنواخت کردن توزیع شدت نور از پخش‌کننده نوری تولیدشده استفاده شده است. به این ترتیب که توزیع شدت نور لامپ، پس از عبور از پخش‌کننده نوری یکنواخت شده و پرتوهای نور توسط آینه به درون عدسی شیئی هدایت می‌گردند. سپس نور توسط عدسی شیئی بر روی نمونه کانونی می‌شود و در نهایت، نور عبوری از نمونه توسط عدسی چشمی دریافت شده و با استفاده از عدسی بر روی

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

دوربین سی‌سی‌دی کانونی می‌گردد. به این ترتیب، امکان تصویربرداری عبوری نوری از نمونه مورد نظر فراهم خواهد شد.

ابتدا هم‌محوری نور در چیدمان اپتیکی میکروسکوپ عبوری تنظیم شده است. سپس، توزیع فضایی شدت نور، با قرار دادن پخش‌کننده اپتیکی در مسیر نور و بدون پخش‌کننده توسط دوربین سی‌سی‌دی آشکارسازی و ثبت شده است. جهت رنگ‌سنجی و نهایی‌سازی چیدمان، از نمونه‌های دوبعدی تولید شده بر روی بستره پلیمری پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان به عنوان نمونه اصلی استفاده کرده‌ایم. این نمونه‌ها با لایه نازک MgF_2 و TiO_2 در محفظه لایه نشانی کندوپاش قرار گرفته و با ضخامت ۱۰۰ نانومتر، تولید شده‌اند (پیوست شکل ۱).

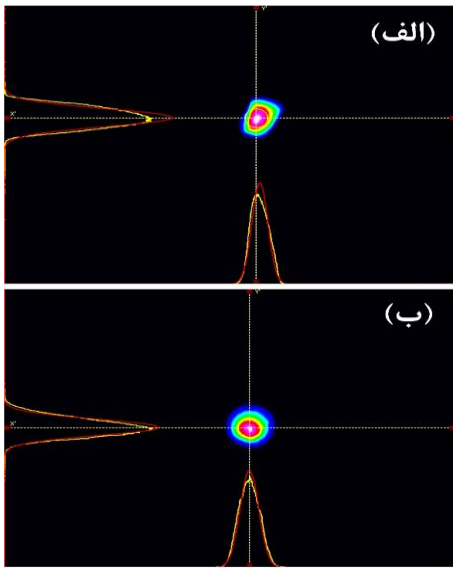


شکل ۱: طرحواره چیدمان تجربی میکروسکوپ عبوری نوری. تصویر پخش‌کننده نوری تولید شده و نمونه اصلی دوبعدی در این شکل، پیوست شده است.

پس از آن، با کانونی شدن نور بر یک سلول واحد از نمونه‌ها، تصویر توزیع شدت، طیف عبور و سپس رنگ‌سنجی نمونه‌ها در این چیدمان انجام شده است.

نتایج و بحث

پس از تنظیم هم‌محوری نور، پروفایل توزیع شدت نور بر روی دوربین سی‌سی‌دی مشاهده و ثبت گردیده است (شکل ۲-(الف)). همانطور که مشاهده می‌شود، توزیع شدت در هر دو جهت x و y نامتقارن و غیریکنواخت است و کاملا بر پروفایل شدت گاوسین (منحنی قرمز رنگ در شکل ۲) منطبق نیست. جهت دست‌یابی به پروفایل شدت یکنواخت و متقارن، پخش‌کننده نوری تولیدشده در مسیر نور قرار داده شده است و پروفایل توزیع شدت نور با حضور پخش‌کننده نوری ثبت شده است (شکل ۲-(ب)). همانطور که انتظار می‌رفت، با قرار دادن پخش‌کننده نوری در مسیر نور، توزیع شدت یکنواخت و متقارن حاصل شده است و لکه نور به صورت دایروی کامل ظاهر شده است. همچنین نمودارهای توزیع شدت (منحنی‌های زرد رنگ) منطبق بر توزیع گاوسین (منحنی‌های قرمز رنگ) حاصل شده است.



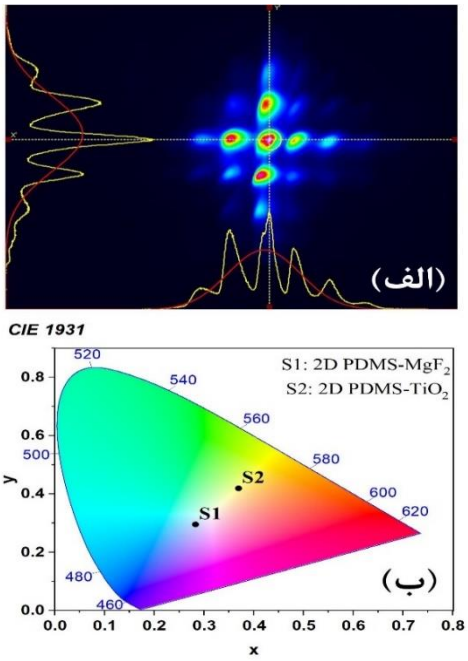
شکل ۲: تصویرهای ثبت‌شده از پروفایل توزیع فضایی شدت نور برای حالت‌های: (الف) قبل و (ب) بعد از قرار دادن پخش‌کننده نوری در مسیر اپتیکی. منحنی‌های زرد رنگ، توزیع شدت اندازه‌گیری‌شده و منحنی‌های قرمز رنگ توزیع شدت گاوسین متناظر در جهت‌های x و y را نشان می‌دهند.

همانطور که مشاهده می‌شود، در حالتی‌که پخش‌کننده نوری به کار نرفته است، منحنی توزیع شدت از توزیع

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

گاوسین فاصله گرفته است و بر آن منطبق نیست. در حالی‌که با قرار دادن پخش‌کننده نوری در مسیر نور، پروفایل شدت نور به‌صورت متقارن و دایروی حاصل شده است.

جهت نهایی‌سازی چیدمان، تصویربرداری و طیف‌سنجی عبوری نمونه‌های دوبعدی تولیدشده انجام شده است (شکل ۳) و سپس نمودار رنگ‌سنجی از روی داده‌های طیف عبوری نمونه‌ها محاسبه شده است (شکل ۳-(ب)).



شکل ۳: (الف) توزیع مکانی شدت در نمونه دوبعدی $PDMS\text{-}MgF_2$ با قرار دادن پخش‌کننده در مسیر اپتیکی و (ب) رنگ‌سنجی از نمونه‌های دوبعدی MgF_2 و TiO_2.

همانطور که مشاهده می‌شود، نمونه‌های متفاوت، رنگ‌های تفکیک‌پذیر مختلفی تولید کرده‌اند. هم‌چنین، تصویر توزیع شدت نمونه دو بعدی به‌صورت متقارن و منظم بدست آمده است (شکل ۳-(ب)).

نتیجه‌گیری

پخش‌کننده‌های نوری، جهت یکنواخت کردن توزیع فضایی شدت نور به کار می‌روند و این ابزارهای اپتیکی با توجه به کاربردهای گسترده‌شان مورد توجه بسیاری از پژوهشگران در حوزه اپتیک و فوتونیک واقع شده‌اند. در این پژوهش، با ساییدن مستقیم پودر سرامیک سیلیکون کاربید بر روی شیشه یک پخش‌کننده نوری تولید شده است و در چیدمان تجربی میکروسکوپ عبوری نوری جهت یکنواخت کردن توزیع فضایی شدت نور مورد بررسی قرار گرفته است. مشاهده شده است که با قرار دادن پخش‌کننده نوری در مسیر نور، توزیع فضایی شدت نور، یکنواخت و متقارن شده است و نمودارهای توزیع شدت منطبق بر توزیع گاوسین حاصل شده است. علاوه براین، جهت نهایی‌سازی چیدمان، نمونه‌های دوبعدی بر روی بستره پلیمری تولید شده است و جهت تصویربرداری و رنگ‌سنجی در چیدمان تجربی میکروسکوپ عبوری نوری به کار رفته است.

مرجع‌ها

[1] H. Kwon, E. Arbabi, S. M. Kamali, M. Faraji-Dana, and A. Faraon, “Computational complex optical field imaging using a designed metasurface diffuser”, Optica, Vol. 5, No. 8, pp. 924-931, 2018.

[2] T. Ohzono, K. Suzuki, T. Yamaguchi, and N. Fukuda, “Tunable optical diffuser based on deformable wrinkles”, Advanced Optical Materials, Vol. 1, No. 5, pp. 374-380, 2013.

[3] S. Islam, J. Stiens, I. Jaeger, G. Poesen, and R. Vounckx, “Implementation of dynamic Hadamard diffuser as a frequency selective surface for W-band active millimeter wave imaging”, Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 51, No. 6, pp. 1440-1445, 2009.

[4] M. Liao, D. Lu, G. Pedrini, W. Osten, G. Situ, W. He, and X. Peng, “Extending the depth-of-field of imaging systems with a scattering diffuser”, Scientific reports, Vol. 9, No. 1, pp. 1-7, 2019.

[5] S. Tabata, F. Araki, H. Arimoto, and W. Watanabe, “Reconstruction quality of digital holographic images using a holographic diffuser with different distances”, In Biomedical Imaging and Sensing Conference 2020, Vol. 11521, pp. 1152115, International Society for Optics and Photonics, 2020.

[6] R. Zhu, Q. Hong, Y. Gao, Z. Luo, S. T. Wu, M. C. Li, S. L. Lee, and W. C. Tsai, “Tailoring the light distribution of liquid crystal display with freeform engineered diffuser”, Optics express, Vol. 23, No. 11, pp. 14070-14084, 2015.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

۱. المان‌های با ابزارها یا افزاره‌ها جایگزین شود.
پاسخ: طبق نظر داور محترم، کلمه المان‌ها با ابزارها جایگزین گردید.

۲. متن ایراد نوشتاری از نگاه دستور زبان فارسی دارد مثلا "توزیع گاو سین حا صل شده ا ست." بین گاو سین و نیز حا صل فاصل افتاده است که این موارد در متن زیاد دیده می شود.
پاسخ: تمام بخش‌های متن توسط فاصله‌شمار چک و تصحیح گردید.

۳. کلماتی مانند عبورندگی را در متن های اپتیک ندیده ام. می توان با عبوردهی جایگزین کرد.
پاسخ: طبق نظر داور محترم، کلمه عبورندگی با عبوردهی جایگزین شد.

۴. کاربید با اندازه استاندارد مش ۱۲۰ این مطلب گنگ است. آیا مش واحد یا مقیاس ندارد؟
پاسخ: اندازه ذرات پودر سیلیکن کاربید معمولا برحسب استاندارد مش‌های مختلف و یا میکرون بیان می‌گردد. مقیاس مش واحد استانداردی برای بیان اندازه ذرات می‌باشد. در اینجا، استاندارد مش ۱۲۰ معادل ذرات با اندازه‌های ۱۵۰ میکرون و کوچکتر می‌باشد. طبق نظر داور محترم، استاندارد مش ۱۲۰، به واحد میکرون تغییر یافت.

۵. منظور از پیوست شکل ۱ چیست؟ این نوع نگارش در فارسی کم دیده شده است.
پاسخ: شکل ۱، طرحواره چیدمان تجربی میکروسکوپ عبوری نوری را نشان می‌دهد که تصویر پخش‌کننده نوری تولید شده و نمونه دوبعدی تولید شده به آن پیوست شده است. همچنین عنوان پخش‌کننده نوری و نمونه دو بعدی پایین شکل‌ها ذکر شده است. لازم به ذکر است به دلیل محدودیت تعداد صفحات، دو شکل مربوطه با ذکر عنوانشان به شکل ۱ ضمیمه شده‌اند.

۶. هیچ بحثی از مکانیزم ابزار اپتیکی نشده است.
پاسخ: در بخش مقدمه ذکر شده است که پخش‌کننده‌های نوری از طریق پراکندگی نامنظم نور هرگونه طرح و تصویر بر روی لکه نوری را از بین می‌برند و موجب یکنواخت شدن توزیع شدت نور می‌گردند. درواقع، پخش‌کننده‌های نوری متشکل از مجموعه‌ای از پراکننده‌ها هستند که از طریق پراکندگی و شکست چندگانه نور موجب یکنواخت شدن توزیع فضایی شدت نور می‌گردند. این ابزارهای نوری، نور فرودی را در جهت‌های مختلف پخش می‌کند و این عملکرد نقش مهمی در ایجاد توزیع یکنواخت نور را دارد. اگرچه انواع مختلفی از پخش‌کننده‌ها وجود دارد، اما رایج‌ترین آنها متشکل از پراکننده‌های آلی و یا غیرآلی هستند که در یک فیلم پلاستیکی تعبیه شده‌اند و بر اساس پراکندگی و شکست چندگانه نور عمل می‌کنند. طبق نظر داور محترم، این بخش به مقدمه اضافه شده است.

۷. این ابزار با کدام پایه و منطق ساخته شده است؟
پاسخ: پخش‌کننده‌های نوری متشکل از مجموعه‌ای از پراکننده‌ها هستند که از طریق پراکندگی و شکست چندگانه نور موجب یکنواخت شدن توزیع فضایی شدت نور می‌گردند. در این پژوهش، با ساییدن مستقیم پودر سیلیکون کاربید بر روی زیرلایه شیشه‌ای، یک پخش‌کننده نوری تولید شده است و در واقع، ذرات سیلیکن کاربید نقش پراکننده‌ها را جهت ایجاد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

توزیع یکنواخت نور بازی می‌کنند. پخش‌کننده‌های نوری ابزارهای شناخته شده‌ای هستند که در زندگی روزمره نیز جهت یکنواخت کردن شدت نور، جلوی لامپ‌های روشنایی قرار داده می‌شوند.

۸. چرا باید یک سری رنگ ها را حذف کند؟

پاسخ: پخش‌کننده نوری باعث حذف رنگ خاصی نمی‌شود تنها از طریق پراکندگی و شکست چندگانه نور موجب یکنواخت کردن توزیع فضایی نور می‌گردد. در این پژوهش، با به‌کارگیری پودر سرامیک سیلیکون کاربید یک پخش‌کننده نوری تولید شده است و در چیدمان تجربی میکروسکوپ عبوری نوری جهت یکنواخت کردن توزیع فضایی شدت نور مورد استفاده قرار گرفته است. مشاهده شده است که با قرار دادن پخش‌کننده نوری در مسیر نور، توزیع فضایی شدت نور، یکنواخت و متقارن شده است و نمودارهای توزیع شدت منطبق بر توزیع گاوسین حاصل شده است.

علاوه براین، جهت نهایی‌سازی چیدمان، نمونه‌های دوبعدی بر روی بستره پلیمری تولید شده است و جهت تصویربرداری و رنگ‌سنجی در چیدمان تجربی میکروسکوپ عبوری نوری به کار رفته است. شکل ۳-(ب)، نمودار رنگ‌سنجی از نمونه‌های دو بعدی تولید شده را نشان می‌دهد. در واقع، ابتدا طیف عبور عمودی نمونه‌ها با استفاده از طیف سنج ثبت گردیده و سپس نمودار رنگ‌سنجی از روی داده‌های طیف عبوری نمونه‌ها محاسبه شده است (شکل ۳-(ب)). همنطور که مشاهده می‌شود نمونه‌های دو بعدی MgF_2 و TiO_2، رنگ‌های تفکیک‌پذیر مختلفی تولید کرده‌اند که این اختلاف ناشی از تفاوت در اندازه سلول واحد و همچنین ضریب شکست ساختارها می‌باشد.

۹. چرا توزیع شدت باید گاوسی باشد؟

پاسخ: توزیع شدت نور در سامانه‌های اپتیکی تصویربرداری باید داری توزیع فضایی یکنواختی باشد و همانطور که در بخش مقدمه ذکر شده است هنگامی‌که نور قبل از فرودآمدن به نمونه موردنظر، غیریکنواخت و یا حامل طرحواره و تصویر باشد، باعث سوار شدن نویز بر روی داده اصلی خواهد شد. به عنوان مثال، هنگامی‌که از یک منبع نوری با توزیع نور غیریکنواخت استفاده می‌شود و یا طرحواره‌ای در مسیر عبور نور بر روی پروفایل نور سوار می‌شود باید انتظار بسیاری از نوفه‌ها و یا اعوجاج‌ها را داشت. توزیع شدت گاوسین، یک توزیع شدت یکنواخت و متقارن است که بطور پیش فرض، توسط نرم افزار دوربین سی‌سی‌دی به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]