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

معرفی روش جدیدی برای تشخیص آستانه تخریب لیزری

علی مشایخی اصل[۱]، محمد یگانه[۲]، سعید سلیمیان[۳] و امیرعباس نوفرستی[۴]

۱- مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، ایران، ali.mashayekhi.physics@gmail.com
۲- مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، ایران، moyeganeh@iasbs.ac.ir
۳- مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، ایران saeed.op.la.۲۰۱۰@gmail.com
۴- مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، ایران. amirnoferesti۰@yahoo.com

چکیده- آستانه تخریب لیزری، پارامتر بسیار مهمی در تعیین میزان مقاومت یک المان اپتیکی در برابر تابش لیزر است. روش‌های معمول که براساس استاندارد ISO ۲۱۲۵٤ (٤-۱) برای تعیین لحظه‌ی شروع تخریب به‌کار می‌روند، روش‌های غیرمستقیم‌اند که بعضاً دارای پیچیدگی‌هایی هستند که به‌کارگیری آن روش‌ها را هزینه‌بر می‌کند. درعین حال، این روش‌ها نیاز به تأیید به‌روش‌های دیگر، ازجمله نمایش میکروسکوپی تخریب شکل گرفته دارند. در این مقاله روش جدیدی برای تشخیص آستانه تخریب لیزری انواع فیلترهای اپتیکی، علاوه بر روش‌های موجود در استاندارد بین‌المللی ISO، معرفی می شود. این روش مبتنی بر استفاده از تصویر پراش میدان دور نور لیزر از محل درمعرضِ تخریب و پردازش تصویر آن است. بزرگ‌ترین مزیت این روش، سادگی، ارزانی و عدم نیاز به پالایه‌ی فضایی برای لیزر مورد استفاده است. در این مقاله نشان داده‌ایم که می‌توان تخریب‌های بسیار کوچک در ابتدای شکل‌گیری با اندازه‌ی حدود ۷۵ میکرون را تشخیص داد.

کلید واژه- آستانه تخریب لیزری، LIDT، پردازش تصویر، تجهیزات لیزری، کنترل کیفی.

Introduction to a New Method to Determination of Laser Induced Damage Threshold

Ali Mashayekhi Asl[۱], Mohammad Yeganeh[۲], Saeed Salimian[۳], and Amirabbas Noferesti[٤]

۱- □□□□□□□□ □□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□ (□□□□), □□□□, □□□.□□□□□□□□□□□.□□□□□□□□□□□□□□□.□□□

۲- □□□□□□□□ □□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□ (□□□□), □□□□, □□□□□□□□□□□□□□□□□.□□.□□

۳- □□□□□□□□ □□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□ (□□□□), □□□□. □□□□□.□□.□□.۲۰۱۰□□□□□□.□□□

۴- □□□□□□□□ □□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□ (□□□□), □□□□. □□□□□□□□□□□□□۰□□□□□□.□□□

Abstract- The laser induced damage threshold is a very important parameter in determining the resistance of an optical element to laser radiation. The usual methods used according to the ISO ۲۱۲۵٤ (٤-۱) standard to determine the moment of failure of the element, are indirect methods, which sometimes have complexities that are costly to use. In addition, these methods need to be validated by other methods, including microscopic representation of the formed damage. This paper introduces a new method for identifying the laser damage threshold of various optical filters, in addition to the methods in the ISO international standard. This method is based on the use of far-field diffraction patterns of probe laser from the area subject to destruction and image processing of it. The most important advantage of this method is simplicity, cheapness and no need for a spatial filter for laser. In this paper, we show that very small damage at the beginning of formation with a size of about ۷۵ microns can be detected.

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

Keywords: image processing, laser induced damage threshold, laser instruments, LIDT, quality control.

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

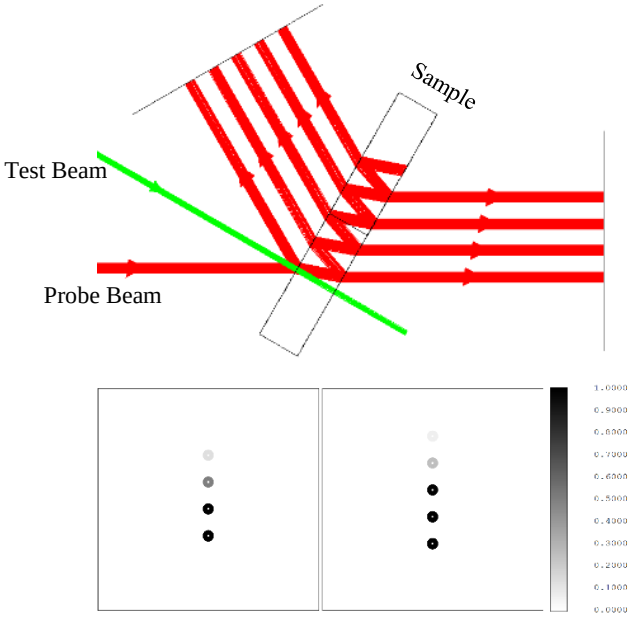
مقدمه

با توجه به کاربرد فراوان فیلترهای اپتیکی در مواجهه با منابع نوری پرقدرت، مانند لیزرهای پرتوان که کاربردهای فراوان صنعتی، نظامی، هوا-فضا و ... دارند، سنجش مقاومت قطعات اپتیکی در برابر تابش لیزر با روشی استاندارد که مقبولیت جهانی نیز داشته باشد، بسیار با اهمیت است. از این‌رو، استاندارد ISO ۱۱۲۵۴ با هدف معرفی یک روش استاندارد برای اندازه‌گیری آستانه تخریب لیزری قطعات اپتیکی در سال ۲۰۰۱ تدوین گردید که پس از بازنگری، در سال ۲۰۱۱ به شماره ISO ۲۱۲۵۴ چاپ شد که در شماره‌ی چهارم از این استاندارد، روش‌های مختلفی برای تشخیص تخریب در المان‌های اپتیکی پیشنهاد شده است[۱]، که شامل روش‌های مبتنی بر تشخیص پراکندگی، تابش پلاسمایی و تابش حرارتی، تابش فلوئورسانسی، تغییر بازتاب یا عبور، روش مشاهده‌ی میکروسکوپی درلحظه، شکست فوتوترمال و اثر عدسی حرارتی و تغییر آنی فشار می‌شود.

هر کدام از این روش‌ها محدودیت‌ها، معایب و محاسنی ازلحاظ دقت در تشخیص و میزان پوشش‌پذیری انواع فیلترهای اپتیکی دارند. برخی از این روش‌ها به‌لحاظ عملیاتی با پیچیدگی‌ها و دشواری‌های فراوانی مواجه هستند و یا تحلیل گزارش آن‌ها از پدیده‌ی تخریب، دشوار است.

معرفی روش

روش پیشنهادی در این مقاله بر اساس مکانیزم عبور و بازتاب باریکه‌ی لیزر پروب از نمونه‌ی تحت آزمون است. لیزر پروب با هر طول موج در ناحیه‌ی مرئی قابل استفاده است. ما در این کار از یک لیزر دیودی با طول‌موج ۶۵۵ nm استفاده نمودیم. همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، باریکه‌ی لیزر پروب پس از عبور از نقطه-محل تابش لیزر اصلی، مراتب متعدد بازتاب و عبور را تجربه می‌کند. همانگونه که مشاهده می‌شود، باریکه در تمام مرتبه‌های بازتاب و عبور، اطلاعات مربوط به محل اصابت باریکه‌ی اصلی بر روی نمونه‌ی آزمون را حمل می‌کند.



شکل ۱: شبیه‌سازی تابش باریکه‌ی پروب با قطر ۲mm به نمونه‌ی تحت آزمون (بالا) و مرتبه‌های مختلف عبور (چپ) و بازتاب (راست). باریکه سبز رنگ، نشان‌دهنده لیزر آزمون با طول موج ۱۰۶۴ nm و عرض پالس ۱,۵ ns است.

پس از تصویر برداری، به‌خاطر ابعاد کوچک تخریب در مراحل اولیه‌ی شکل‌گیری، از تفاضل تصاویر به دست آمده، قبل و پس از تخریب، برای واضح‌تر دیده شدن الگوی تخریب استفاده می‌کنیم. درصورتی‌که به هر دلیلی، مثلاً ارتعاش، تصویر از محل خودش جابه‌جا شده باشد، با بیشینه کردن تابع همبستگی تصاویر مورد مقایسه، جابه‌جایی تصاویر را به‌دست می‌آوریم.

$$C_{i,j} = \sum_{i'=-i_{\max}}^{i_{\max}} \sum_{j'=-j_{\max}}^{j_{\max}} I(i',j') \times I'(i'+i, j'+j), \quad (۱)$$

که $I(i,j)$ توزیع شدت تصویر در نقطه‌ای به مختصات (i,j) روی سطح آن است. $i_{\max}$ و $j_{\max}$ ابعاد تصاویر اولیه است. میزان جابه‌جایی دو تصویر درحالتی که تابع همبستگی بیشینه شود، به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

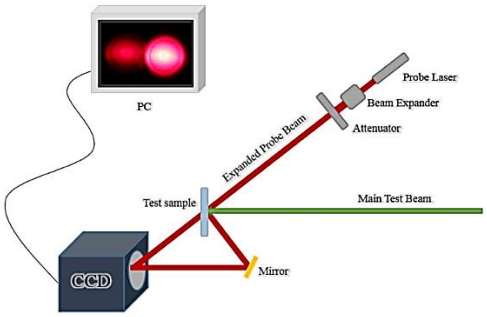
$$\max\{C_{i,j}\} = C_{i_0,j_0} \Rightarrow \begin{cases} \Delta x = i_0 \delta \\ \Delta y = j_0 \delta \end{cases}, \quad (۲)$$

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

که δ طول هر گام از جابه‌جایی است. پس از این مرحله، نقاط مشابه دو تصویر را با برش از کناره‌های تصاویر، روی‌هم می‌اندازیم. با این‌کار اثر ارتعاش کاملاً ازبین خواهد رفت.

کارهای تجربی

باریکه‌ی پروب حامل هرگونه اتفاقی است که در محل تلاقی با باریکه اصلی رخ می‌دهد. در نتیجه با استخراج اطلاعات آن می‌توان تخریب را تشخیص داد. برای این کار ابتدا با استفاده از یک باریکه‌گستر ۳×، باریکه‌ی پروب به قطر حدود ۲ میلی‌متر را پهن، و از یک تضعیف‌کننده متغیر برای تنظیم شدت آن استفاده کردیم. محل قرارگیری دوربین به گونه‌ای قرار تعیین شد که باریکه پروب عبوری مستقیماً و بدون استفاده از عدسی وارد حسگر شود. از یک آینه برای هدایت بازتاب‌های مرتبه اول و دوم لیزر پروب به سمت دوربین نیز استفاده شد. با این کار می‌توان به‌صورت انتخابی از باریکه-های بازتابی و یا باریکه‌های عبوری لیزر پروب استفاده کرد. شماتیکی از چیدمان این روش در شکل ۲ آورده شده است.

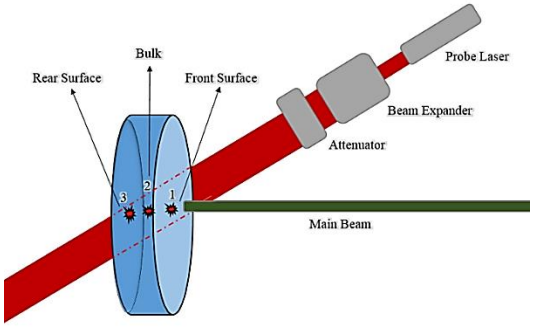


شکل ۲: شکل شماتیک از چیدمان تشخیص تخریب لیزری.

چیدمان شامل اجزای زیر است:

Probe Laser: لیزر پروب باید در محدوده‌ی مرئی باشد. می‌توان از لیزرهای دیودی کم توان سبز یا قرمز (زیر ۱۰۰میلی وات) استفاده کرد.

Beam Expander: دلیل استفاده از باریکه‌گستر آن است که باریکه پروب بتواند از سطح ابتدایی تا سطح انتهایی نمونه‌ی آزمون که تحت تأثیر باریکه لیزر اصلی است را پوشش دهد تا در صورت ایجاد تخریب در هر نقطه از این مسیر استوانه‌ای (همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است) باریکه‌ی پروب بتواند آن را تشخیص دهد.



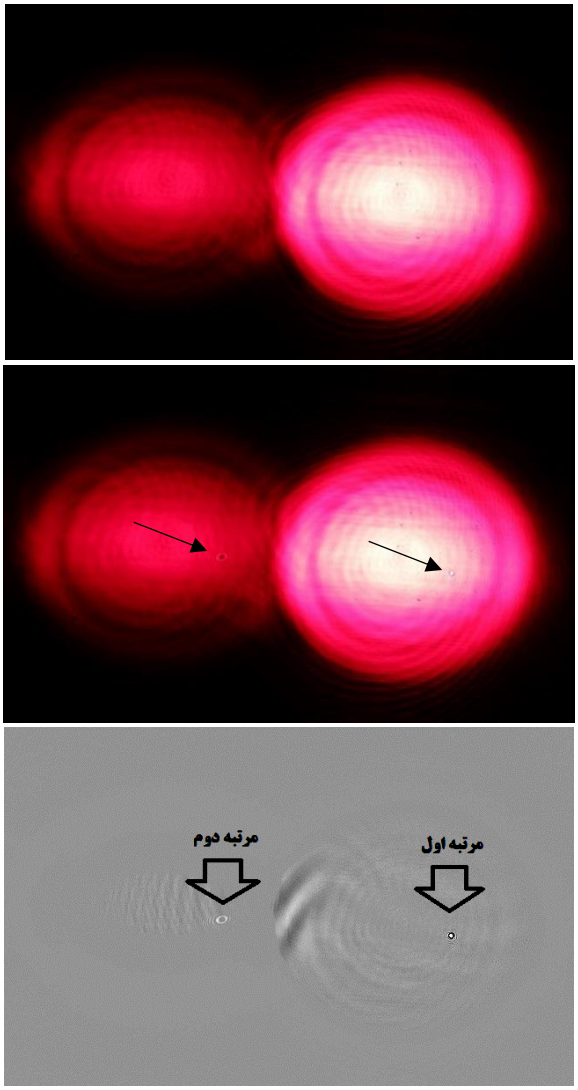
شکل ۳: تلاقی باریکه‌ی آزمون با باریکه‌ی پروب بر روی نمونه‌ی تحت آزمون

Mirror: دلیل استفاده از آینه در چیدمان آن است که، ممکن است نمونه تحت آزمون برای طول موج لیزر پروب و در زاویه‌ی فرود آن، بازتاب بالایی داشته باشد و یا ممکن است یک نمونه‌ی اپتیکی با یک سطح مات باشد، به همین دلیل می‌توان با کمک آینه‌ی منحرف‌کننده، باریکه را به درون دوربین منتقل نمود.

Attenuator: دلیل استفاده از تضعیف‌کننده آن است که نمونه‌ی مورد آزمون ممکن است در طول‌موج و زاویه‌ی فرودی باریکه‌ی پروب، عبور بالایی را داشته باشد و این امر باعث اشباع تصویر شود، به همین دلیل با تنظیم نور ورودی به داخل دوربین می‌توان حد بهینه‌ای برای آن به دست آورد.

شکل‌های ۴ تصاویری که قبل و پس از تخریب توسط دوربین ثبت‌شده است را نشان می‌دهد. بخش سمت راست تصویر مربوط به عبور مرتبه‌ی اول و بخش سمت چپ تصویر، نشان‌دهنده‌ی عبور مرتبه‌ی دوم است.

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

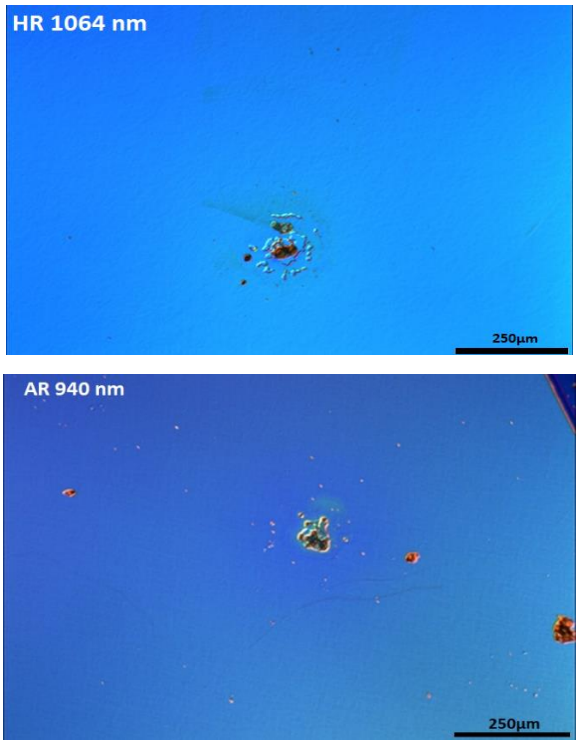


شکل ۴: تصاویر ثبت شده در CCD مربوط به محل برخورد باریکه‌ی اصلی با نمونه‌ی آزمون، بالا: قبل، وسط: بعد از شکل‌گیری تخریب، پایین: تصویر تفاضلی که تخریب را در عبور مرتبه‌های اول و دوم مشخص نموده است.

پس از تشخیص تخریب توسط CCD، محل تخریب در نمونه توسط میکروسکوپ اپتیکی نومارسکی (DIC) بررسی شد، شکل ۵ نمونه‌ای از تخریب تشخیص داده شده با این روش را، که با میکروسکوپ ثبت شده است را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

روش تشخیص آستانه‌ی تخریب ناشی از لیزر (LIDT) که در این مقاله ارائه گردید، روش جدیدی است که می‌تواند شروع تخریب را بر روی انواع نمونه‌های تخت عبوری، بازتابی (با یک سطح مات)، محدب و مقعر با دقت بسیار خوبی تشخیص دهد. از همین رو این روش دارای جامعیت بیشتری برای آزمون انواع فیلترهای اپتیکی نسبت به روش‌های ذکر شده در استاندارد ISO ۲۱۲۵۴-۴ است. علاوه بر این، کم هزینه بوده و از پیچیدگی بسیار کمتری برخوردار است. همچنین مکانیزم تشخیص تخریب قطعیت بسیار بالاتری نسبت به روش‌های ذکر شده در استاندارد را دارد.



شکل ۵: تخریب شکل گرفته بر روی دو نمونه از نوع فیلتر HR و AR.

سپاسگزاری:

مراتب سپاس و قدردانی خود را از جناب آقای دکتر علیرضا فرد جعفرنیا اعلام می‌داریم، بی شک بدون همراهی ایشان و ایده‌های نوآورانه‌شان این کار تحقیقی به ثمر نمی‌رسید.

منابع مورد استفاده

[۱] استاندارد ملی ایران ۱۳۹۶: ۴-۱۸۵۴۷، لیزرها و تجهیزات مرتبط با لیزر- روش‌های آزمون برای آستانه تخریب ناشی از لیزر، قسمت ۴: بررسی، تشخیص و اندازه‌گیری.

[۲] ISO/TR ۲۱۲۵۴-۴:۲۰۱۱, Lasers and laser-related equipment -Test methods for laser-induced damage

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

threshold- Part ٤: Inspection, detection and measurement.

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