INSO
3501-1
1st.Edition
2014

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران

۱- ۳۵۰۱

چاپ اول

۱۳۹۳

ایمنی محصولات لیزری-
قسمت ۱:
طبقه‌بندی والزامات تجهیزات

Safety of laser products –
Part 1:
Equipment classification
and requirements

ICS:33.100

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است .

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان ، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود .پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود .بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور ، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود .

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2 - International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«ایمنی محصولات لیزری-قسمت ۱: طبقه بندی والزامات تجهیزات»

رئیس :	**سمت و/یا نمایندگی**
مهاجرانی، عزالدین (دکتری فیزیک)	ریاست پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی
دبیر	
کلیشادی، احمدرضا (لیسانس مهندسی الکترونیک)	معاون تجهیزات ITو الکترونیک مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک
اعضاء	
اسماعیلی، سحر (فوق لیسانس فوتونیک)	کارشناس فنی آزمایشگاه لیزر، مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک
پروین، پرویز (دکتری فیزیک لیزر)	مدیر گروه فوتونیک، دانشکده مهندسی انرژی وفیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
پوراکبر صفار، علی (فوق لیسانس فیزیک اتمی و مولکولی)	کارشناس فنی آزمایشگاه لیزر، مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک
مجدآبادی، عباس (دکتری فیزیک لیزر)	رئیس پژوهشکده لیزر و اپتیک، سازمان انرژی اتمی ایران
موسوی، سید مهدی (دکتری اپتیک و لیزر)	کارشناس ارشد تحقیق و توسعه، پژوهشکده لیزر، صنایع الکترواپتیک صاایران

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد ب
پیش گفتار ز
۱ هدف ودامنه کاربرد ۱
۲مراجع الزامی ۳
۳ اصطلاحات وتعاریف ۴
۴اصول طبقه‌بندی ۲۶
۴-۱ کلیات ۲۶
۴-۲ مسئولیت‌هایطبقهبندی ۲۷
۴-۳ قوانین طبقه‌بندی ۳۴
۴-۴ محصولات لیزری طراحی شده برای کار به عنوان لامپ‌های متداول ۴۰
۵ تعیین تراز گسیل قابل دسترس و طبقه‌بندی محصول ۴۱
۵-۱ آزمون‌ها ۴۱
۵-۲ اندازه گیری تابش لیزر ۴۳
۵-۳ تعیین طبقه محصول لیزری ۴۴
۵-۴ هندسه اندازه‌گیری ۵۵
۶ مشخصات مهندسی ۵۴
۶-۱ نکات واصلاحات کلی ۵۴
۶-۲ بدنه محافظ ۵۴
۶-۳ دریچه‌های دسترسی وقفل‌های همبندی ایمنی ۵۵
۶-۴ اتصال‌دهنده قفل همبندی از راهدور ۵۷
۶-۵ بازنشانی دستی ۵۷
۶-۶ کنترل با کلید ۵۷
۶-۷ هشداردهنده گسیل تابش لیزر ۵۷
۶-۸ متوقف‌کننده یا تضعیف‌کننده باریکه ۵۸
۶-۹ کنترلها ۵۸
۶-۱۰ ابزار اپتیکی مشاهده‌ای ۵۸

ادامه فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
۶-۱۱ حفاظت روبشی	۵۹
۶-۱۲ حفاظ برای محصولات طبقه 1C	۶۶
۶۶۶-۱۳ دسترسی درراه	
۶-۱۴ شرایط محیطی	۶۰
۶-۱۵ حفاظت دربرابرخطرات دیگر	۶۷
۶-۱۶ مدار محدودکننده قدرت	۶۰
۷ برچسب گذاری	۶۱
۷-۱ کلیات	۶۱
۷-۲ طبقه ۱ وطبقه1M	۶۴
۷-۳ طبقه1C	۶۴
۷-۴ طبقه ۲ وطبقه2M	۶۵
۷-۵ طبقه3R	۶۶
۷-۶ طبقه3B	۶۷
۷-۷طبقه ۴	۶۷
۷-۸ برچسب روزنه	۶۸
۷-۹ خروجی تابش واطلاعات استاندارد	۶۸
۷-۱۰برچسب‌هایی برای دریچه دسترسی	۶۸
۷-۱۱ هشدار برای تابش لیزرنامرئی	۷۰
۷-۱۲ هشداربرای تابش لیزرمرئی	۷۰
۷-۱۳ هشداربرای خطربالقوه برای پوست یا بخش‌های قدامی چشم	۷۱
۸ سایرالزامات اطلاعاتی	۷۱
۸-۱ اطلاعات برای مصرف‌کننده	۷۱
۸-۲ اطلاعات خریدوخدمات پس ازفروش	۷۳
۹ الزامات دیگر برای محصولات لیزری خاص	۷۴
۹-۱ قسمت‌های دیگر مجموعه استاندارد IEC 60825	۷۴
۹-۲ محصولات لیزرپزشکی	۷۵
۹-۳ ماشین های پردازش لیزری	۷۵
۹-۴ اسباب‌بازی‌های الکتریکی	۷۵

ادامه فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
۹-۵ محصولات الکترونیکی مصرفی	۷۵
پیوست الف (اطلاعاتی) مقادیر بیشینه پرتوگیری مجاز	۷۶
پیوست ب (اطلاعاتی) نمونه‌هایی از محاسبات	۸۷
پیوستپ (اطلاعاتی) توصیف طبقات و خطرات بالقوه مرتبط	۹۹
پیوستت (اطلاعاتی) ملاحظات بیوفیزیکی	۱۰۷
پیوستث (اطلاعاتی) مقادیر *MPE* و *AEL* بیان‌شده به‌عنوان تابندگی	۱۱۹
پیوستج (اطلاعاتی) جداول خلاصه مشخصات	۱۲۳
پیوست چ (اطلاعاتی) بررسی اجمالی قسمت های مرتبط با IEC 60825-1	۱۳۵
پیوست ح واژه‌نامه	۱۳۷
کتابنامه	۱۴۳

پیش‌گفتار

استاندارد"ایمنی محصولات لیزری- قسمت۱: طبقه‌بندی و الزامات تجهیزات " که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوطه توسط مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک تهیه و تدوین شده و در چهارصد و شصتمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد مهندسی پزشکی مورخ ۱۳۹۳/۶/۱۶ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان ملی استاندارد ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هرگونه پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استاندارد ارائه شود، در هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ملی ایران باید همواره از آخرین تجدید نظر آنها استفاده کرد.

استاندارد ملی ایران شماره ۳۵۰۱ : سال ۱۳۷۳ ، ایمنی تجهیزات لیزری - طبقه‌بندی دستگاهها, مقررات و راهنمای استفاده‌کننده باطل و این استاندارد جایگزین آن می‌شود.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

IEC 60825-1: 2014, Safety of laser products- Part1: Equipment classification and requirements

ایمنی محصولات لیزری

قسمت ۱: طبقه‌بندی والزامات تجهیزات

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارزیابی ایمنی محصولات لیزری است که گسیل‌کننده تابش لیزر در گستره طول-موج ۱۸۰nm تا ۱mm هستند.

اگرچه لیزرهایی وجود دارند که طول‌موج‌های کوچکتر از ۱۸۰nm (در فرابنفش خلاء) گسیل می‌کنند، اما در دامنه کاربرد این استاندارد قرار ندارند چون باریکه لیزر معمولاً در یک بدنه خالی محافظت می‌شود و بنابراین خطرات تابش نوری بالقوه، ذاتا کمترین مقدار هستند.

یک محصول لیزری ممکن است شامل یک تک لیزر، همراه یا بدون یک منبع تغذیه مجزا باشد یا ممکن است دربرگیرنده‌ی یک یا چند لیزر در یک سامانه پیچیده اپتیکی، الکتریکی یا مکانیکی باشد. به‌طور معمول محصولات لیزری برای نمایش پدیده‌های فیزیکی و اپتیکی، پردازش مواد، خواندن و ذخیره داده‌ها، انتقال و نمایش اطلاعات و غیره به‌کار می‌روند. چنین سامانه‌هایی کاربردهایی در صنعت، تجارت، سرگرمی، پژوهش، آموزش، پزشکی و محصولات مصرفی پیدا کرده‌اند.

محصولات لیزری که برای استفاده به‌عنوان اجزای هر سامانه برای فروش بعدی، به دیگر سازندگان فروخته شده‌اند، در این استاندارد کاربرد ندارند، زیرا محصول نهایی به خودی خود در این استاندارد خواهد بود. محصولات لیزری که توسط یا برای سازندگان محصولات نهایی به‌عنوان اجزاء تعمیری محصولات نهایی به فروش می‌رسند، در این استاندارد کاربرد ندارند. با این حال، اگر سامانه لیزر درون یک محصول لیزری، زمانی که از دستگاه برداشته می شود قابل استفاده باشد، الزامات این استاندارد برای واحد برداشته شده به‌کار می‌روند.

یادآوری ۱- تجهیزات قابل استفاده‌ی مزبور نیاز به ابزاری جهت آماده‌سازی برای عملکرد ندارند.

محصول لیزری از تمامی الزامات دیگر این استاندارد معاف است، اگر طبقه‌بندی انجام شده به وسیله سازنده محصول، مطابق بندهای ۴ و ۵ نشان دهد که تراز گسیل، از حد گسیل قابل دسترس(AEL)[1] طبقه ۱ تحت همه شرایط عملکرد، نگهداری، تعمیر و خرابی، تجاوز نمی‌کند. چنین محصول لیزری ممکن است به‌عنوان یک محصول لیزری معاف شده درنظر گرفته شود.

یادآوری ۲- معافیت بالا برای اطمینان از این است که محصولات لیزری ذاتاً ایمن، از بندهای ۶، ۷، ۸ و ۹ معاف هستند.

علاوه بر اثرات مخرب که به‌طور بالقوه ناشی از تابش لیزرهستند، برخی تجهیزات لیزری ممکن است دارای خطرات مرتبط دیگری مثل برق‌گرفتگی، خطرات شیمیایی و دماهای بالا یا پایین باشند.تابش لیزر ممکن است

1-Accessible Emission Limit

منجر به آسیب موقتی بینایی مانند خیرگی ضعیف و خیرگی شدید[1]توسط نور شود. چنین اثراتی به شرایط کار و روشنایی محیطی بستگی دارند و در دامنه کاربرد این استاندارد قرار نمی‌گیرند. طبقه‌بندی و سایر الزامات این استاندارد فقط برای آسیب‌های ناشی از تابش لیزر بر روی چشم و پوست در نظرگرفته شده‌اند.
این استاندارد کمینه الزامات را توصیف می‌کند. انطباق با این استاندارد ممکن است برای دستیابی به تراز مورد نیاز ایمنی محصول کافی نباشد. همچنین ممکن است لازم باشد محصولات لیزری با عملکرد کاربردی و الزامات آزمون دیگر استانداردهای کاربردی ایمنی محصول مطابقت داشته باشند.

یادآوری ۳- استانداردهای دیگر ممکن است در برگیرنده الزامات بیشتری باشند. برای مثال محصول لیزری کلاس۳Bیا ۴ ممکن است برای استفاده به‌عنوان یک محصول مصرفی مناسب نباشد.

جایی که یک سامانه لیزر، قسمتی از تجهیزاتی است که در استاندارد ایمنی دیگری کاربرد دارد (به‌عنوان مثال برای تجهیزات پزشکی (استاندارد ملی ایران آی ایی سی ۲۲-۲-۶۰۶۰۱)، تجهیزات IT (مجموعه استاندارد ملی ایران شماره ۵۲۳۳)، تجهیزات صوتی - تصویری (استاندارد ملی ایران شماره ۴۵۸۲)، تجهیزات صوتی– تصویری و IT(IEC 62368-1)، تجهیزات مورد استفاده در محیط‌های خطرناک (استاندارد ملی ایران شماره ۵۵۰۵)، یا اسباب‌بازی‌های الکتریکی (استاندارد ملی ایران شماره ۸۲۶۷))، این استاندارد در ارتباط با مقررات راهنمای IEC 104 برای خطرات ناشی از تابش لیزر به‌کار می‌رود. اگر هیچ استاندارد ایمنی در مورد محصول قابل کاربرد نباشد، استاندارد IEC 61010-1 به‌کار می‌رود.
برای ابزار چشم پزشکی، اطمینان از ایمنی بیمار، استانداردISO 15004-2باید به‌کار گرفته شود و اصول ایجاده شده مربوط به محدودیت‌ها در آن باید برای تابش لیزر به‌کاررروند. (به پیوست پ و ت رجوع شود.)
در ویرایش‌های قبلی، دیودهای نورگسیل (*LED*s)[2] در دامنه کاربرد این استاندارد قرار داشتند و هنوز ممکن است در دیگر قسمت‌های مجموعه استاندارد ملی ایران شماره ۳۵۰۱قرار گرفته باشند. به هر حال با تدوین استانداردهای ایمنی لامپ، ایمنی تابش نوری *LED*ها در حالت کلی بهتر است توسط استانداردهای ایمنی لامپ تحت بررسی قرار گیرند. هرگاه *LED*ها به لیزرها اشاره داشته باشند، حذف آنها از دامنه کاربرد این استاندارد مانع استانداردهای دیگر در برگیرنده *LED*ها نمی‌شود. استانداردIEC 62471 ممکن است برای تعیین طبقه گروهی ریسک یک *LED* یا محصولی شامل یک یا چند *LED* به‌کار برده شود. برخی استانداردهای جانبی ممکن است به اندازه‌گیری، طبقه‌بندی، مشخصات مهندسی و الزامات برچسب گذاری این استاندارد (۱-۳۵۰۱) برای محصولات *LED*نیاز داشته باشند.
محصولات لیزری با تابندگی قابل دسترس تحت معیارهای تعیین شده در زیر بند ۴-۴، برای منابع نوری مرسوم طراحی شده‌اند و برآوردن الزامات مشخص شده در زیربند ۴-۴ ممکن‌است تحت مجموعه استانداردهای IEC 62471«ایمنی فوتوبیولوژیکی لامپ‌ها و سیستم‌های لامپی»مورد ارزشیابی قرارگیرند. چنین محصولی در دامنه

1- Dazzle and Glare
2- Ligth Emitting Diods

کاربرد این استانداردباقی می‌ماند، به غیر از گسیل تابش نوری توصیف‌شده در بالا که نیاز به درنظر گرفتن برای طبقه‌بندی ندارند.

مقادیربیشینه پرتوگیری مجاز(*MPE*)[1] ارائه شده در پیوست الف این استاندارد برای تابش لیزر ایجاد شده و برای تابش جانبی اعمال نمی‌شوند. با این حال اگر این نگرانی وجود داشته باشد که تابش جانبی قابل دسترس ممکن است خطرناک باشد، مقادیر *MPE*لیزر ممکن است به‌طور محافظه‌کارانه برای ارزشیابی این خطر بالقوه به‌کار روند یا باید مقادیر حد پرتوگیری اشاره شده در استاندارد IEC 62471 به‌کاررروند.

مقادیر *MPE* در پیوست الف،برای پرتودهی عمدی لیزر به انسان برای درمان پزشکی یا آرایشی/زیبایی کاربرد ندارند.

یادآوری ۴- پیوست‌های اطلاعاتی الف تا چ به‌منظور راهنمایی عمومی و تشریح تعدادی از موارد معمول قرار داده شده‌اند. با این حال پیوست‌ها به‌طور قطعی یا جامع تنظیم نشده‌اند.

اهداف این استاندارد شامل موارد زیر است :

- معرفی سامانه طبقه‌بندی لیزرها و محصولات لیزری گسیل‌کننده تابش در گستره طول‌موجی ۱۸۰nm تا ۱mm مطابق با درجه خطر تابش نوری آن‌ها به‌منظور کمک به ارزشیابی خطر و کمک به تعیین اقدامات کنترلی کاربر
- برقراری الزاماتی برای ارائه اطلاعات توسط سازنده، به‌طوری که اقدامات احتیاطی مناسب را بتوان اتخاذ کرد.
- اطمینان یافتن از هشدار کافی به افراد از طریق برچسب‌ها و دستورالعمل‌ها، در مورد خطرات مرتبط با تابش قابل دسترس از محصولات لیزری
- کاهش صدمات با به کمینه رساندن تابش‌های غیرضروری قابل دسترس و تأمین کنترل بهتر خطرات تابش لیزر از طریق ویژگی‌های حفاظتی.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی محسوب می‌شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است.

1- Maximum Permisible Exposure

۲-۱استاندارد IEC 61010-1، الزامات ایمنی برای تجهیزات الکتریکی برای اندازه‌گیری، کنترل و استفاده آزمایشگاهی _ قسمت ۱: الزامات کلی

۲-۲استاندارد ملی ایران آی ایی سی ۲۲-۲-۶۰۶۰۱، تجهیزات الکتریکی پزشکی – قسمت ۲۲-۲ الزامات ویژه برای ایمنی پایه و عملکرد ضروری تجهیزات لیزری تشخیصی، درمانی، آرایشی و جراحی

2-3 *IEC 60050 (all Parts), International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*
2-4 *IEC 62471 (all Parts), Photobiological safety of lamps and lamp systems*

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر (به ترتیب حروف الفبای انگلیسی) به‌کار می‌روند:

۳-۱

دریچه دسترسی Access Panel

قسمتی از بدنه یا محفظه محافظ که در زمان برداشته شدن یا جابه‌جایی، دسترسی به تابش لیزر را فراهم می‌سازد.

۳-۲

گسیل قابل دسترس Accessible Emission

ترازی از تابش تعیین شده در یک موقعیت و با روزنه‌بندها (زمانی که حد گسیل قابل دسترس *AEL* در واحدهای وات یا ژول داده شده باشد) یا روزنه‌های محدودکننده (زمانی که حد گسیل قابل دسترس در واحدهای $W.m^{-2}$ یا $J.m^{-2}$داده شده باشد) همان‌گونه که در بند ۵ توصیف شده است.

یادآوری ۱- گسیل قابل دسترس، همان‌گونه که در تعریف ۳-۴۰ توصیف شده است، در جایی تعیین شده که دسترسی افراد مورد توجه است.گسیل قابل دسترس(تعیین شده در حین کار) با حد گسیل قابل دسترس (تعریف ۳-۳) به‌منظور تعیین طبقه محصول لیزری مقایسه شده است. در متن استاندارد، هر زمان که از اصطلاح "سطح یا تراز گسیل" استفاده شد، آن را به‌عنوان گسیل قابل دسترس در نظر می‌گیریم.

یادآوری۲- زمانی که باریکه بزرگتر از روزنه‌بند باشد گسیل قابل دسترس هنگامی که در واحدهای وات یا ژول داده شده باشد کمتر از کل انرژی یا توان گسیل شده از محصول لیزری است. زمانی که باریکه کوچکتر از روزنه محدود کننده باشد گسیل قابل دسترس هنگامی که در واحدهای وات بر متر مربع یا ژول بر متر مربع داده شده باشد، یعنی چگالی شار تابشی یا چگالی انرژی میانگین‌گیری شده روی روزنه محدودکننده، کوچکتر از چگالی شار تابشی یا چگالی انرژی واقعی باریکه است. روزنه‌بند را در تعریف (۳-۹) و روزنه محدود کننده را در تعریف (۳-۵۵) مشاهده کنید.

۳-۳

حد گسیل قابل دسترس Accessible Emission Limit

بیشینه مقدار گسیل قابل دسترس مجاز در یک طبقه خاص.

یادآوری- هر جایی از متن که به" تراز گسیلی که بیشتر از حد *AEL* نمی‌شود" یا کلمه مشابه ارجاع داده می‌شود به این مفهوم است که گسیل قابل دسترس مطابق معیارهای اندازه‌گیری مشخص شده در بند ۵، تعیین شده است.

۴-۳

کنترل اجرایی Administrative Control

اقدامات اندازه گیری ایمنی از نوع غیرمهندسی نظیر نظارت کلیدی، آموزش ایمنی کارکنان، علائم هشداردهنده، دستورالعمل‌های شمارش معکوس و کنترل‌های ایمنی مرتبط با فاصله از لیزر

یادآوری ۱- این امر ممکن است توسط سازنده تعیین شود. (به بند ۸ رجوع شود.)

۵-۳

زاویه پذیرش Angle of Acceptance

زاویه صفحه‌ای که در آن یک آشکارساز به تابش نوری پاسخ خواهد داد و به‌طور معمول با واحد رادیان اندازه‌گیری می‌شود.

یادآوری ۱- این زاویه پذیرش ممکن است به‌وسیله روزنه‌ها یا قطعات اپتیکی در جلوی آشکارساز کنترل شود. (به شکل ۱ و ۲ رجوع شود.) زاویه پذیرش اغلب به‌عنوان میدان دید در نظر گرفته می‌شود.

یادآوری ۲- واحد در SI : رادیان

یادآوری ۳- زاویه پذیرش نباید با حد زاویه‌ای چشمه یا واگرایی باریکه اشتباه گرفته شود.

۶-۳

حد زاویه‌ای Angular Subtense

زاویه صفحه‌ای که توسط یک کمان دایره‌ای، با نسبت طول کمان به شعاع کمان محدود شده‌است.

یادآوری ۱- واحد در SI : رادیان

یادآوری ۲- برای زوایای کوچک، حد زاویه‌ای یک خط در فاصله معین، با تقسیم طول خط به فاصله محاسبه می‌شود. برای زوایای بزرگ تفاوت بین خط وتر و کمان نیاز به محاسبه دارد.

۷-۳

حد زاویه‌ای چشمه ظاهری Angular Subtense of the Apparent Source

α

زاویه دربرگرفته شده توسط یک چشمه ظاهری، به‌طوری‌که از یک نقطه در فضا مشاهده شده باشد، مطابق شکل ۱

یادآوری ۱- برای نمونه‌ای از توزیع نیم‌رخ چگالی شار تابشی گاوسی تصویر چشمه ظاهری، مانند بازتابی پراکنده از باریکه TEM_{00}، α با تعریف قطر باریکه d_{63} تعیین می‌شود. (به تعریف ۳-۱۳ رجوع شود.) برای نیم‌رخ غیر یکنواخت چگالی شار تابشی یا چشمه‌های چندگانه، α مطابق زیربند ۴-۳- ت تعیین می‌شود.

یادآوری ۲- واحد در SI : رادیان

یادآوری ۳- مکان و حد زاویه‌ای چشمه ظاهری به موقعیت ناظر در باریکه بستگی دارد. (به زیربند ۳ رجوع شود.)

یادآوری ۴- حد زاویه‌ای یک چشمه ظاهری در این استاندارد تنها در گستره طول‌موجی ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm، یعنی گستره خطر شبکیه به‌کار می‌رود.

یادآوری ۵- حد زاویه‌ای چشمه ظاهری نباید با واگرایی باریکه اشتباه گرفته شود. این حد زاویه‌ای چشمه نمی‌تواند بزرگتر از واگرایی باریکه بوده، اما به‌طور معمول کوچکتر از واگرایی باریکه است.

۸-۳

روزنه Aperture

به هرگونه بازشدگی در بدنه محافظ یا محفظه یک محصول لیزری که تابش لیزر از آن گسیل می‌شود و دسترسی انسان به چنین تابشی را فراهم می‌کند، گفته می‌شود.

یادآوری ۱- همچنین به روزنه محدودکننده (تعریف ۳-۵۵) رجوع شود.

۹-۳

روزنه‌بند Aperture Stop

بازشدگی برای تعریف سطحی که روی آن تابش اندازه‌گیری می‌شود.

یادآوری ۱- همچنین به روزنه محدودکننده (تعریف ۳-۵۵) رجوع شود.

۱۰-۳

چشمه ظاهری Apparent Source

برای ارزشیابی مکان خطر شبکیه‌ای داده شده‌ی جسم حقیقی یا مجازی که کوچکترین تصویر ممکن را روی شبکیه تشکیل می‌دهد. (با توجه به گستره تطبیقی فاصله از چشم انسان)

یادآوری ۱- گستره تطبیقی چشم از ۱۰۰mm تا بی‌نهایت متغیر فرض می‌شود. مکان چشمه ظاهری برای یک موقعیت دید در باریکه جایی است که تطابقات چشمی در آن بیشترین شرایط چگالی شار تابشی شبکیه‌ای خطرناک را تولید می‌کند.

یادآوری ۲- این تعریف برای تعیین محل مبدأ ظاهری تابش لیزر در گستره طول موجی بین ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm، برای یک موقعیت ارزشیابی داده شده استفاده می‌شود. در حد ناپدید شدن واگرایی یعنی در مورد یک باریکه کامل موازی شده، مکان چشمه ظاهری در بی‌نهایت قرار می‌گیرد.

یادآوری ۳- برای تصاویر دایره‌ای چشمه‌های گسترده روی شبکیه با نیم‌رخ گاوسی، تعریف d_{63} می‌تواند برای تعیین حد زاویه‌ای چشمه ظاهری α استفاده شود.

۱۱-۳

باریکه Beam

تابش لیزر که باراستا، واگرایی، قطر یا ویژگی‌های روبشی مشخص شده باشد.

یادآوری ۱- تابش پخش شده از یک بازتاب غیرآینه‌ای به‌عنوان باریکه در نظر گرفته نمی‌شود.

۱۲-۳

تضعیف‌کننده باریکه Beam Attenuator

افزاره‌ای که تابش لیزر را به یا پایین‌تر از تراز معین کاهش دهد.

۱۳-۳

قطر باریکه Beam Diameter

d_u

قطر باریکه d_uدر یک موقعیت در فضا، قطر کوچکترین دایره‌ای است که u٪ از کل توان (یا انرژی) را در بر می-گیرد.

یادآوری ۱- برای اهداف این استاندارد، d_{63} مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یادآوری ۲- کمر باریکه موقعیتی در باریکه است که در آن قطر باریکه کمترین مقدار است.

یادآوری ۳- واحد در SI : متر

یادآوری ۴- تعریف قطر باریکه نباید به‌طور معمول برای تعیین حد زاویه‌ای چشمه ظاهری α به‌کار رود زیرا که تعاریف متفاوت هستند. با این حال، برای نمونه‌ای از یک نیم‌رخ چگالی شار تابشی گاوسی تصویر چشمه ظاهری، d_{63}می‌تواند برای تعیین حد زاویه‌ای چشمه ظاهری α به‌کار رود. برای نیم‌رخ چگالی شار تابشی غیرگاوسی تصویر حد زاویه‌ای چشمه ظاهری، روش توصیف شده در زیربند ۴-۳- ت استفاده می‌شود.

یادآوری ۵-در مورد یک باریکه گاوسی، d_{63}به نقطه‌ای که چگالی شار تابشی (چگالی انرژی) به$1/e$مقدار قله مرکزی می‌رسد مربوط می‌شود.

یادآوری ۶- تعریف ممان مرتبه دوم[1] (همان‌طورکه در استاندارد ملی ۱-۱۱۷۱۰ تعیین شده) برای نیم‌رخ‌های باریکه با قله‌های چگالی شار تابشی بالای مرکزی و یک زمینه تراز پایین استفاده نمی‌شود، از جمله باریکه‌های تولید شده توسط تشدیدگرهای ناپایدار در میدان دور: توانی که از درون یک روزنه عبور می‌کند، می‌تواند هنگام استفاده از ممان مرتبه دوم و محاسبه توان با فرض یک نیم‌رخ باریکه گاوسی، مشخصاً نادیده گرفته شود.

۱۴-۳

واگرایی باریکه Beam Divergence

زاویه صفحه‌ای میدان دور مخروطی که به‌وسیله قطر باریکه تعیین می‌شود.

یادآوری ۱- اگر قطرهای باریکه (به تعریف ۳-۱۳ رجوع شود) که در دو نقطه با فاصله r از هم جدا شده‌اند را با d_{63}و d'_{63}نشان دهیم، واگرایی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\varphi = 2\ arc\tan\left(\frac{d_{63} - d'_{63}}{2r}\right)$$

یادآوری ۲- واحد در SI : رادیان.

یادآوری ۳- تعیین واگرایی ممان مرتبه دوم (استاندارد ملی ۱-۱۱۷۱۰) برای نیم‌رخ‌های پرتو با قله‌های چگالی شار تابشی بالای مرکزی و یک زمینه تراز پایین استفاده نمی‌شود، از جمله، باریکه‌های تولید شده توسط تشدیدگرهای ناپایدار در میدان دور یا نیم‌رخ‌های باریکه که الگوهای پراش ایجاد شده توسط روزنه‌ها را نشان می‌دهند.

۱۵-۳

باریکه گستر Beam Expander

ترکیبی از قطعات اپتیکی که قطر باریکه لیزر را افزایش دهد.

۱۶-۳

قطعات مسیر باریکه Beam Path Component

قطعات اپتیکی که روی مسیر باریکه‌ی مشخص قرار می‌گیرند.

مثال- یک آینه هدایت‌کننده باریکه، یک عدسی متمرکزکننده یا یک پخش‌کننده

1- Second moment diameter

۱۷-۳

متوقف‌کننده باریکه BeamStop

افزاره‌ای که مسیر باریکه لیزر را پایان می‌دهد.

۱۸-۳

محصول لیزری طبقه ۱ Class 1 Laser Product

هر محصول لیزری که در حین کار، اجازه دسترسی افراد به تابش لیزر (گسیل قابل دسترس، تعریف ۳-۲ را ببینید) بیشتر از *AEL*طبقه یک برای طول‌موج‌ها و مدت زمان گسیل قابل استفاده را نمی‌دهد. (به زیربندهای ۵-۳ و ۴-۳-ث رجوع شود.)

یادآوری۱- برایمحدودیت‌های طرح طبقه‌بندی به پیوست پ رجوع شود.

یادآوری۲- از آنجاکه آزمون‌های طبقه‌بندی محصول، به آزمون‌های در حین کار محدود می‌شوند، ممکن است نمونه‌ای برای محصولات لیزری جاسازی شده[1] باشد، که در آن تابش لیزر بالاتر از حد *AEL* طبقه محصول در شرایط زیر در دسترس قرارگیرد: می‌تواند در حین نگهداری (به زیربند ۶-۲-۱ رجوع شود) یا تعمیر، زمانی که قفل‌های همبندی دریچه‌های دسترسی تعلیق شوند، در دسترس قرارگیرد.

۱۹-۳

محصول لیزری طبقه 1C Class 1C Laser Product

هر محصول لیزری که به‌طور خاص برای استفاده‌ی تماسی با پوست یا بافت غیرچشمی طراحی شده است و در آن:

- خطر برای چشم در حین کار توسط ابزار مهندسی متوقف می‌شود، یعنی هنگامی که لیزر از تماس با پوست یا بافت غیرچشمی برداشته می‌شود، گسیل قابل دسترس متوقف شده یا به پایین‌تر از حد *AEL* طبقه ۱ کاهش می‌یابد.
- در حین کار و در زمان تماس با پوست یا بافت غیرچشمی، تراز پرتوگیری چگالی شار تابشی یا تابندگی ممکن است *MPE*پوست را در صورت لزوم برای فرایند درمانی درنظر گرفته شده افزایش دهد، و
- محصول لیزری با استانداردهای قابل اجرا سازگار است.

یادآوری۱- برای طبقه‌بندی یک محصول به‌عنوان طبقه 1Cصرفاً استناد به این استاندارد، بدون در نظر گرفتن الزامات تعیین شده در استانداردهای ایمنی جانبی قابل استفاده محصول، کافی نیست. به محدودیت‌های طبقه‌بندی در پیوست پ نیز رجوع شود.

1- Embedded laser product

یادآوری ۲- چون تابش گسیلی ممکن است*MPE* قابل کاربرد برای پوست را افزایش دهد، خروجی یک لیزر طبقه 1Cممکن است به‌طور بالقوه برای بافت هدف خطرناک باشد. تعریف محدودیت‌های مناسب گسیل قابل دسترس تحت شرایط تماسی، برای مثال یک تماس محتمل با پلک در دامنه کاربرد این استاندارد هستند و در استانداردهای قابل اجرا مشخص شده‌اند.

یادآوری۳- از آنجاکه آزمون‌های طبقه‌بندی محصول، به آزمون‌های در حین کار محدود می‌شوند، ممکن است نمونه‌ای برای محصولات لیزری جاسازی شده باشند که در آن تابش لیزر بالاتر از حد *AEL* طبقه محصول می‌تواند در حین نگهداری (به زیربند ۶-۲-۱ رجوع شود) یا تعمیر زمانی که قفل‌های همبندی دریچه‌های دسترسی تعلیق شوند، در دسترس قرارگیرد.

۲۰-۳

محصول لیزری طبقه 1M Class 1M Laser Product

هر محصول لیزری در گستره طول موجی ۳۰۲٫۵nm تا ۴۰۰۰nmرا می نامند که در حین کار اجازه دسترسی انسان به تابش لیزر (گسیل قابل دسترس، تعریف ۳-۲ را ببینید) بیش از حد گسیل قابل دسترس *AEL* طبقه یک برای طول‌موج و مدت زمان گسیل کاربردی را نمی‌دهد (زیربند ۴-۳-ث)، یعنی جایی که تراز تابش مطابق زیربند ۵-۳- الف اندازه‌گیری شده است.

یادآوری ۱-برایمحدودیت‌های طرح طبقه‌بندی به پیوست پ رجوع شود.

یادآوری ۲- خروجی یک محصول لیزری طبقه 1Mبه‌طور بالقوه زمانی خطرناک است که با استفاده از ابزار اپتیکی مانند تلسکوپ یا دوربین دوچشمی مشاهده شود. (به زیربند ۵-۳-الف رجوع شود.)

یادآوری۳- از آنجا که آزمون‌های طبقه‌بندی محصول، به آزمون‌های در حین کار محدود می‌شوند، ممکن است نمونه‌ای برای محصولات لیزری جاسازی شده باشند که در آن تابش لیزر بالاتر از حد *AEL* طبقه محصول می‌تواند در حین نگهداری (به زیربند ۶-۲-۱ رجوع شود) یا تعمیر زمانی که قفل‌های همبندی دریچه‌های دسترسی تعلیق شوند، در دسترس قرارگیرد.

۲۱-۳

محصول لیزری طبقه ۲ Class 2 Laser Product

هر محصول لیزری در گستره طول موجی ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nmرا می نامند که در حین کار اجازه دسترسی انسان به تابش لیزر (گسیل قابل دسترس، به تعریف ۳-۲ رجوع شود) بیش از حد گسیل قابل دسترس *AEL* طبقه ۲ برای طول موج و مدت گسیل قابل استفاده را نمی دهد (زیربند ۴-۳-ث)، یعنی جایی که تراز تابش مطابق زیربند ۵-۳- پ اندازه‌گیری شده است.

یادآوری ۱-برایمحدودیت‌های طرح طبقه‌بندی به پیوست پ رجوع شود.

یادآوری۲- از آنجا که آزمون‌های طبقه‌بندی محصول، به آزمون‌های در حین کار محدود می‌شوند، ممکن است نمونه‌ای برای محصولات لیزری جاسازی شده باشند که در آن تابش لیزر بالاتر از حد *AEL* طبقه محصول می‌تواند در حین نگهداری (به زیربند ۶-۲-۱ رجوع شود) یا تعمیر زمانی که قفل‌های همبندی دریچه‌های دسترسی تعلیق شوند، در دسترس قرارگیرد.

۲۲-۳

محصول لیزری طبقه 2M Class 2M Laser Product

هر نوع محصول لیزری در گستره طول موجی ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nmرا می نامند که در حین کار اجازه دسترسی افراد به تابش لیزر (گسیل قابل دسترس، تعریف ۳-۲ را ببینید) بیش از حد گسیل قابل دسترس *AEL* طبقه ۲ برای طول موج و مدت گسیل کاربردی را نمی‌دهد (زیربند ۴-۳-ث)، یعنی جایی که تراز تابش مطابق زیربند ۵-۳- پ اندازه‌گیری شده است.

یادآوری ۱-برایمحدودیت‌های طرح طبقه‌بندی به پیوست پ رجوع شود.

یادآوری ۲- خروجی یک محصول لیزری طبقه 2Mبه‌طور بالقوه زمانی خطرناک است که با استفاده از ابزار اپتیکی مانند تلسکوپ یا دوربین دوچشمی مشاهده شود. (به زیربند ۵-۳- ج رجوع شود.)

یادآوری۳- از آنجا که آزمون‌های طبقه‌بندی محصول، به آزمون‌های در حین کار محدود می‌شوند، ممکن است نمونه‌ای برای محصولات لیزری جاسازی شده باشند که در آن تابش لیزر بالاتر از حد *AEL* طبقه محصول می‌تواند در حین نگهداری (به زیربند ۶-۲-۱ رجوع شود) یا تعمیر زمانی که قفل‌های همبندی دریچه‌های دسترسی تعلیق شوند، در دسترس قرارگیرد.

۲۳-۳

محصولات لیزری طبقه 3R و 3B Class 3R, 3B Laser Product

هر محصول لیزری که در حین کار، اجازه دسترسی انسان به تابش لیزری (گسیل قابل دسترس، تعریف ۳-۲ را ببینید) بیش از حد *AEL* تعریف شده برای طبقه ۱ و ۲ را بدهد، ولی دسترسی انسان به تابش لیزر بیش از *AEL* برای لیزرهای طبقه‌های 3Rو 3B (به ترتیب) را برای هر مدت گسیل و طول موج محدود سازد. (به زیربند ۵-۳- ت و ۵-۳- ث رجوع شود.)

یادآوری ۱- برایمحدودیت‌های طرح طبقه‌بندی به پیوست پ رجوع شود.

یادآوری۲- محصولات طبقه 1M و کلاس 2Mممکن است دارای خروجی بیشتر یا کمتر از حد *AEL*طبقه 3R، بسته به مشخصات اپتیکی آن‌ها باشند.

یادآوری۳- از آنجا که آزمون‌های طبقه‌بندی محصول، به آزمون‌های در حین کار محدود می‌شوند، ممکن است نمونه‌ای برای محصولات لیزری جاسازی شده باشند که در آن تابش لیزر بالاتر از حد *AEL* طبقه محصول می‌تواند در حین نگهداری (به زیربند ۶-۲-۱ رجوع شود) یا تعمیر زمانی که قفل‌های همبندی دریچه‌های دسترسی تعلیق شوند، در دسترس قرارگیرد.

۲۴-۳

محصول لیزری طبقه ۴ Class 4 Laser Product

هر محصول لیزری که اجازه دسترسی انسان به تابش لیزری (گسیل قابل دسترس، تعریف ۳-۲ را ببینید) بیش از *AEL* برای طبقه3B را بدهد. (به زیربند ۵-۳– ج رجوع شود.)

یادآوری ۱- برایمحدودیت‌های طرح طبقه‌بندی به پیوست پ رجوع شود.

۲۵-۳

تابش جانبی Collateral Radiation

هر نوع تابش الکترومغناطیسی در گستره طول موج ۱۸۰ nm تا ۱ mm به‌جز تابش لیزری گسیل شده از یک محصول لیزری که ناشی از آن لیزر بوده یا برای راه‌اندازی لیزر به‌طور فیزیکی به آن نیاز است.

۲۶-۳

باریکه موازی شده Collimated Beam

باریکه تابش با واگرایی یا همگرایی زاویه‌ای بسیار کوچک

۲۷-۳

مُد تماسی Contact Mode

استفاده از یک محصول لیزری در جایی که سامانه ارسال باریکه در تماس نزدیک با هدف مورد نظر است.

یادآوری ۱- نیازی نیستسامانه ارسال باریکه در حالت تماس "فیزیکی" باشد. به‌عنوان مثال می‌تواند با نزدیک شدن به هدف مورد نظر، اندازه‌گیری‌های کنترلی مهندسی مناسب موجود را تامین کند.

یادآوری ۲- این تعریف به محصولات طبقه‌بندی شده به‌عنوان طبقه 1C مربوط است.

۲۸-۳

موج پیوسته Continuous Wave

CW

در این استاندارد عملکرد یک لیزر با خروجی پیوسته برای مدتی معادل یا بیشتر از ۰٫۲۵ ثانیه به‌عنوان لیزر پیوسته *CW*در نظر گرفته می‌شود.

۲۹-۳

مسیر مشخص شده باریکه Defined Beam Path

مسیر در نظر گرفته شده برای باریکه لیزر در یک محصول لیزری

۳۰-۳

محصول لیزری نمایشی Demonstration Laser Product

هر محصول لیزری که به‌منظور نمایش، سرگرمی، تبلیغ، نشان دادن یا ساخته هنری طراحی، تولید، در نظر گرفته شده یا توسعه داده شده است.

یادآوری ۱–اصطلاح «محصول لیزری نمایشی» در مورد محصولات لیزری که برای مصارف دیگری طراحی و در نظر گرفته شده‌اند به‌کار نمی‌رود ، اگرچه ممکن است برای نشان‌دادن کاربردهایشان استفاده شوند.

۳۱-۳

بازتاب پراکنده Diffuse Reflection

تغییر توزیع فضایی باریکه تابش به‌وسیله تفرق یا پراکنده شدن در جهت‌های مختلف توسط سطح یا محیط.

یادآوری ۱– یک پخش‌کننده‌ی کامل، تمام همبستگی بین جهت‌های تابش فرودیو خروجی را برهم می‌زند.

۳۲-۳

محصول لیزری جاسازی شده Embeded Laser Product

در این استاندارد به محصول لیزری که به علت مشخصات مهندسی ساخت در محدود کردن گسیل قابل دسترس، در طبقه‌ای کمتر از آنچه که در توان واقعی آن است قرار می‌گیرد، اطلاق می‌شود.

یادآوری ۱- لیزری که درون محصول لیزری جاسازی شده است لیزر جاسازی شده، یا سامانه لیزر محافظت‌شده نامیده می‌شود.

۳۳-۳

مدت زمان گسیل Emission Duration

مدت زمان یک تپ از یک قطار یا سری از تپ‌ها، یا حالت کاری پیوسته که در طی آن دسترسی افراد به تابش لیزر می تواند در نتیجه کار، نگهداری یا تعمیر محصول لیزری رخ دهد.

یادآوری ۱– برای یک تپ، مدت زمان گسیل، زمان بین نیم‌قله توان در لبه جلویی و نقطه مربوطه در روی لبه پشتی است. برای قطاری از تپ‌ها (یا زیرمجموعه‌هایی از قطار تپ‌ها)، این مدت زمان بین اولین نقطه نیم‌قله توان در تپ جلویی و نقطه مربوطه در تپ پشتی است.

۳۴-۳

تابش لیزر منحرف شده Errant Laser Radiation

تابش لیزر که از مسیر باریکه‌ی مشخص شده منحرف می‌شود.

یادآوری ۱– چنین تابشی شامل بازتاب‌های ناخواسته از قطعات مسیر باریکه و تابش منحرف شده از قطعات آسیب‌دیده و درست تنظیم نشده است.

۳۵-۳

مدت زمان پرتوگیری Exposure Duration

مدت زمان تک تپ، قطاری از تپ‌ها یا گسیل پیوسته تابش لیزری روی بدن انسان.

یادآوری ۱- برای یک تپ، مدت زمان گسیل، زمان بین نیم‌قله توان در لبه جلویی و نقطه مربوطه در روی لبه پشتی است. برای قطاری از تپ‌ها (یا زیرمجموعه‌هایی از قطار تپ‌ها)، این مدت زمان بین اولین نقطه نیم‌قله توان در تپ جلویی و نقطه مربوطه در تپ پشتی است.

۳۶-۳

مشاهده چشمه گسترده Extended Source Viewing

شرایط مشاهده که به موجب آن، چشمه ظاهری در فاصله ۱۰۰ mm یا بیشتر، زاویه‌ای بزرگتر از کمینه حد زاویه‌ای α_{min} در چشم را شامل می‌شود.

یادآوری ۱- در این استاندارد شرایط دو چشمه گسترده، با توجه به خطرات آسیب گرمایی شبکیه بررسی شده‌اند: چشمه متوسط و چشمه بزرگ. آن‌ها برای تشخیص چشمه‌ها با حدهای زاویه‌ای چشمه ظاهری α، بین α_{min} و α_{max}(چشمه‌های متوسط) و چشمه‌های بزرگتر از α_{max}(چشمه‌های بزرگ) استفاده می‌شوند. (بهتعریف ۳-۸۲ نیز رجوع شود.)

یادآوری ۲- مثال‌هایی که در آن C_6 (زیربند ۴-۳- پ و جدول ۹) می‌تواند بزرگتر از عدد یک باشد مشاهده برخی چشمه‌های لیزر پراکنده، بازتاب‌های پراکنده و بعضی آرایه‌های دیودی لیزر و لیزرهای خطی را دربر می‌گیرند.

۳۷-۳

ایمن برای چشم EyeSafe

گسیل قابل دسترس زیر حد *AEL*طبقه ۱ یا پرتوگری زیر مقدار *MPE*برای چشم، برای مدت زمان پرتوگیری معین

یادآوری ۱- این اصطلاح به‌طور نادرست در برخی مواد رنگی تبلیغاتی برای گسیل لیزر در گستره طول‌موج بالاتر از۱۴۰۰nm بر اساس حدود پرتوگیری بالاتر در گستره طول‌موج قابل مقایسه با ناحیه خطر شبکیه‌ای استفاده می‌شود. اصطلاح «لیزر ایمن برای چشم»ممکن است فقط برای توصیف محصولات لیزری طبقه ۱ استفاده شود. حتی در شرایطی، اگر گسیل مرئی باشد، طبقه ۱ می‌تواند به‌عنوان ایمن برای چشم در نظر گرفته شود. اختلالات بینائی کوتاه‌مدت، مانند خیرگی خفیف«نابینایی لحظه‌ای[1]»و پس-تصاویر[2] ممکن است ناشی از مشاهده مستقیم باریکه باشد.

یادآوری ۲- اصطلاح «لیزر ایمن برای چشم» نمی‌تواند برای توصیف یک لیزر که فقط بر اساس طول‌موج خروجی بزرگتر از ۱۴۰۰nm است استفاده شود زیرالیزرها در هر طول‌موج با توان خروجی کافی می‌توانند موجب آسیب شوند.

[1]Flash-Blindness
[2]After-Images

۳۸-۳

ایمن در برابر خرابی Fail Safe

طراحی به گونه‌ای باشد که با از کار افتادن یک قطعه، احتمال خطر افزایش نیابد.

یادآوری ۱- در هنگام بروز عیب، سامانه غیر قابل استفاده شده یا خطر افزایش نمی‌یابد.

۳۹-۳

قفل همبندی ایمن در برابر خرابی Fail Safe Safety Interlock

قفل همبندی در حالت خرابی، هدف از به‌کار بردن آن را نقض نمی‌کند.

یادآوری ۱- به‌عنوان مثال، قفل همبندی که به محض باز شدن پوشش لولایی یا قبل از آنکه پوشش برداشته شود، لیزر را به وضعیت خاموش سوق دهد و تا زمانی که پوشش لولایی بسته است یا پوشش جداشدنی در وضعیت قفل شده باشد، آن را در وضعیت خاموش نگه‌دارد.

یادآوری ۲- برای هدف این استاندارد، یک قفل همبندی ایمنی در وضعیت خاموش باریکه را متوقف کرده یا خروجی را به تراز مورد نیاز کاهش می‌دهد. اگر قطعات الکترونیکی و قابل برنامه‌ریزی استفاده شوند، استانداردهای IEC 61508 و ISO 13849 ممکن است برای ارزشیابی قابلیت اطمینان قفل همبندی به‌کار گرفته شود.

۴۰-۳

دسترسی انسان Human Access

الف) توانایی بدن انسان در برابر تابش لیزر گسیل شده از محصول لیزری، یعنی قرار گرفتن در معرض تابش خارج از محفظه حفاظتی، یا

ب) توانایی کاواک استوانه‌ای با قطر ۱۰۰ mm و طول تا ۱۰۰mm در برخورد با ترازهای تابشی طبقه 3B و پایین تر، یا

پ) توانایی دست یا بازوی انسان در برخورد با ترازهای تابشی بالای حد گسیل قابل دسترس طبقه 3B

ت) همچنین برای ترازهای تابشی درون محفظه حفاظتی که معادل طبقه‌های 3Bو ۴ هستند. توانایی هر قسمتی از بدن انسان در برخورد با تابش خطرناک لیزر که می‌تواند مستقیماً از هرگونه سطح صاف داخل محصول و از هرگونه روزنه‌ای در محفظه حفاظتی آن بازتاب شود.

یادآوری ۱- برای محصولات لیزری در دسترس لازم است که تابش درون و بیرون محفظه حفاظتی برای تعیین دسترسی انسان بررسی شوند. می‌توان با کنترل‌های مهندسی از جمله سامانه‌های آشکارسازی خودکار از دسترسی انسان به درون بدنه جلوگیری کرد.

۴۱-۳

تابندگی کل Integrated Radiance

دوز تابندگی Radiance Dose

L_t

انتگرال تابندگی در مدت زمان پرتودهی بر حسب انرژی تابندگی در واحد سطح تابنده در واحد زاویه فضایی گسیل، تعریف می‌شود.

یادآوری ۱- در راهنماهای ICNIRP، این کمیت نیز به‌عنوان دوز تابندگی و نماد D استفاده می‌شود.

یادآوری ۲-واحد تابندگی کل در SI: ژول بر متر مربع استرادیان ($J.m^{-2}.sr^{-1}$) است.

۴۲-۳

مشاهده درون باریکه‌ای Intrabeam Viewing

تمام شرایط مشاهده که به موجب آن چشم در معرض تابش مستقیم یا بازتاب آینه‌ای باریکه لیزر قرار می‌گیرد، به‌عنوان مثال، بازتاب‌های پراکنده.

۴۳-۳

چگالی شار تابشی Irradiance

E

نسبت شار تابشی $d\Phi$ فرودی به عنصری از یک سطح با مساحت dA آن عنصر

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

یادآوری ۱-واحد چگالی شار تابشی در SI: وات بر متر مربع ($W.m^{-2}$) است.

۴۴-۳

لیزر Laser

هر افزاره‌ای که بتواند به‌منظور تولید یا تقویت تابش الکترومغناطیسی درگستره طول موج بین ۱۸۰ nm تا ۱mm با فرایند گسیل القائی کنترل شده ساخته شود.

۴۵-۳

ناحیه کنترل شده لیزر Laser Controlled Area

ناحیه‌ای که در آن افراد و فعالیت آنها به‌منظور حفاظت از خطرات تابش لیزر تحت کنترل و نظارت است.

۴۶-۳

منبع انرژی لیزر Laser Energy Source

هر افزاره‌ای برای استفاده به همراه یک لیزر به‌منظور تأمین انرژی جهت برانگیختگی الکترون‌ها، یون‌ها یا مولکول‌ها.

یادآوری ۱- منابع عام انرژی مانند شبکه تأمین برق یا باتری‌ها، به‌عنوان منبع انرژی لیزر در نظر گرفته نمی‌شوند.

۴۷-۳

ناحیه خطر لیزر Laser Hazard Area

ناحیه‌ای که در آن پرتوگیری چشم و/ یا پوست بیش از بیشینه مقادیر پرتوگیری مجاز (*MPEs*) مربوطه باشد.
ناحیه خطر اسمی دید در تعریف ۳-۶۴ را مشاهده کنید.

یادآوری ۱- برای رفع ابهامات، اطلاعاتی اعم از ناحیه خطر بر اساس مقادیر *MPE* چشم یا پوست باید اضافه شود.

۴۸-۳

محصول لیزری Laser Product

هر محصول یا مجموعه‌ای از قطعات که با یکدیگر ترکیب شده، متصل شده یا به‌منظور تشکیل یک لیزر یا سامانه لیزری به‌کار رود.

۴۹-۳

تابش لیزر Laser Radiation

تمام تابش الکترومغناطیسی گسیل شده توسط محصول لیزری بین ۱۸۰ nm تا ۱ mm که در نتیجه گسیل القائی ایجاد شده است.

۵۰-۳

مسئول ایمنی لیزر Laser Safety Officer

شخصی که در ارزشیابی و کنترل خطرات لیزر دارای دانش فنی است و نسبت به اشتباه در کنترل خطرات لیزر مسئولیت دارد.

۵۱-۳

سامانه لیزر Laser System

لیزری در ترکیب با یک منبع انرژی لیزر مناسب همراه با یا بدون قطعات اضافی جاداده شده است.

۵۲-۳

دیود نورگسیل Light Emitting Diode

LED

هر افزاره‌ی اتصال p-n نیمه‌رسانا که بتواند تابش الکترومغناطیسی توسط بازترکیب تابشی در نیمه‌رسانا را در گستره طول‌موجی بین ۱۸۰nm تا ۱mm ایجاد کند.

یادآوری ۱- تابش نوری توسط فرایند گسیل به خودی خود ایجاد می‌شود، هرچند که ممکن است مقداری گسیل القایی وجود داشته باشد.

۵۳-۳

زاویه پذیرش محدودکننده برای ارزشیابی خطرات فوتوشیمیایی شبکیه

LimitingAngle of Acceptance for Evaluating Retinal Photochemical Hazards

γ_{ph}

زاویه صفحه‌ای که در آن تابش مشخص شده و برای تعیین گسیل قابل دسترس یا تراز پرتوگیری برای مقایسه با حدود خطر فوتوشیمیایی شبکیه بکار گرفته شود.

یادآوری ۱- زاویه γ_{ph} به حرکات چشم مربوط بوده و به حد زاویه‌ای چشمه بستگی ندارد. اگر حد زاویه‌ای چشمه بزرگتر از زاویه پذیرش محدودکننده تعیین شده γ_{ph} باشد، زاویه پذیرشγبه γ_{ph}محدود شده و چشمه برای نقاط گرم جاروب می‌شود. اگر اندازه زاویه پذیرش γبه مقدار تعیین شده محدود نشود، خطر ممکن است بیش از حد برآورد شده باشد.

یادآوری ۲- اگر حد زاویه‌ای چشمه ظاهری کوچکتر از زاویه پذیرش محدودکنندهتعیین شده باشد، اندازه واقعی زاویه پذیرش بر اندازه‌گیری تاثیری نگذاشته و محدود نمی‌شود، یعنی یک چیدمان پرتوسنجی زاویه پذیرش« باز»معمول می‌تواند استفاده شود.

یادآوری ۳- واحد این پارامتر در SI رادیان است.

۵۴-۳

زاویه پذیرش محدودکننده برای ارزشیابی خطرات گرمایی

Limiting Angle of Acceptance for Evaluating Thermal Hazards

γ_{th}

بیشینه حد زاویه‌ای مورد استفاده برای ارزشیابی خطر گرمایی شبکیه

یادآوری ۱- مقدار زاویه پذیرشγ ممکن است بین α_{min} و α_{max}متغیر باشد. (به زیربند ۴-۳-ت و ۵-۴-۳- ب- ۲رجوع شود.)

یادآوری ۲- واحد این پارامتر در SI رادیان است.

۵۵-۳

روزنه محدودکننده Limiting Aperture

سطح دایره‌ای شکلی که چگالی شار تابشی و چگالی انرژی تابشی روی آن میانگین‌گیری می‌شود.

۵۶-۳

نگهداری Maintenance

اجرای آن دسته از تنظیمات یا روش‌های اجرایی که برای اطلاعات کاربر مشخص شده و توسط سازنده همراه محصول لیزری ارائه شده است و توسط کاربر جهت اطمینان از عملکرد مورد نظر محصول به‌کار می‌رود.

یادآوری ۱- نگهداری شامل حالت کاری یا تعمیر نیست.

۵۷-۳

بیشینه حد زاویه‌ای Maximum Angular Subtense

α_{max}

مقدار حد زاویه‌ای چشمه ظاهری که بیشتر از مقادیر بیشینه پرتوگیری مجاز *MPEs* و حد گسیل قابل دسترس *AELs* بوده و مستقل از اندازه چشمه هستند.

یادآوری ۱- مقدار α_{max} از ۵mrad تا ۱۰۰mrad بسته به مدت زمان گسیل (جدول ۹) می‌تواند تغییرکند.

یادآوری ۲- واحد این پارامتر در SI رادیان است.

۵۸-۳

خروجی بیشینه Maximum Output

بیشینه گسیل قابل دسترسی است که برای تعیین طبقه محصول لیزری به‌کار می‌رود.

یادآوری ۱- از آنجائی‌که تعیین گسیل قابل دسترس در کنار سایر شرایط، با توجه به شرایط تک اشکال در نظر گرفته می‌شود (زیربند ۵-۱ را ببینید)، ممکن است از بیشترین خروجی در حین عملکرد عادی بیشتر شود.

۵۹-۳

بیشینه پرتوگیری مجاز Maximum Permissible Exposure

MPE

تراز تابش لیزری که افراد تحت شرایط عادی بدون ایجاد اثرات نامطلوب می‌توانند در معرض آن قرار گیرند.

یادآوری ۱- مقدار *MPE* نمایانگر حداکثر مقداری است که چشم یا پوست می‌تواند بدون صدمه دیدگی به‌طور آنی یا در درازمدت با آن مواجه شود و به طول موج تابش، مدت زمان تپ یا زمان پرتوگیری و بافت در معرض خطر مربوط بوده و برای تابش لیزر

مربی و فروسرخ نزدیک در گستره طول‌موج nm ۴۰۰ تا nm ۱۴۰۰، به اندازه تصویر روی شبکیه بستگی دارد. مقادیر *MPE* (طبق اطلاعات موجود فعلی) در پیوست الف مشخص شده‌اند.

یادآوری ۲–مقادیر *MPE* تعیین شده در پیوست الف اطلاعاتی هستند و به گونه‌ای تهیه شده‌اند که سازنده بتواند مقدار *NOHD* را محاسبه کرده، آنالیز ریسک را انجام دهد و به کاربر در مورد استفاده ایمن از محصول آگاهی دهد. حدود پرتوگیری برای چشم و پوست کارکنان در محیط کار و عموم مردم در بسیاری از کشورها در قانون ملی آن‌ها مشخص شده است. این الزام قانونی حدود پرتوگیری ممکن است با *MPE*های معین شده در پیوست اطلاعاتی الف متفاوت باشند.

۶۰-۳

محصول لیزر پزشکی Medical Laser Product

هر محصول لیزری که جهت تشخیص بالینی، جراحی، پرتو درمانی با لیزر برای هر یک از اعضای بدن طراحی و ساخته، در نظر گرفته شده یا توسعه داده شده است.

۶۱-۳

کمینه حد زاویه‌ای Minimum Angular Subtense

α_{min}

مقدار حد زاویه‌ای چشمه ظاهری که از چشمهتوصیف شده به عنوان چشمه گسترده بیشتر باشد.

یادآوری ۱– مقادیر بیشینه پرتوگیری مجاز *MPEs* و حد گسیل قابل دسترس *AELs* برای حد زاویه‌ای کمتر از α_{min}مستقل از اندازه چشمه است.

یادآوری ۲– واحد این پارامتر در SI رادیان است.

یادآوری ۳–α_{min}= 1.5 mrad

۶۲-۳

قفل شدگی مد Mode Locking

سازوکار یا پدیده منظم داخل تشدیدگر لیزر که قطاری از تپ‌های بسیار کوتاه (زیر نانوثانیه) را ایجاد می‌کند.

یادآوری ۱– این پدیده می‌تواند به‌طور عمدی و همچنین به‌طور خودبه‌خود (خود قفل شدگی) صورت گیرد. توان‌های قله حاصل می‌توانند بسیار بزرگتر از توان میانگین باشند.

۶۳-۳

محدودکننده‌ترین موقعیت Most Restrictive Position

موقعیتی در باریکه که در آن نسبت گسیل قابل دسترس به *AEL* بیشینه باشد.

یادآوری ۱- هر دو گسیل قابل دسترس و *AEL* ممکن است به موقعیت ارزشیابی با توجه به باریکه بستگی داشته باشند. به تعریف ۳-۳۶ نیز رجوع شود.

۶۴-۳

ناحیه اسمی خطر دید Nominal Ocular Hazard Area

NOHA

ناحیه‌ای که در آن چگالی شار تابشی یا چگالی انرژی باریکه، مقدار *MPE* مناسب برای قرنیه، شامل احتمال تغییر مسیر اتفاقی باریکه لیزر را افزایش دهد.

یادآوری ۱- اگر *NOHA*، شامل احتمال مشاهده با ابزار نوری باشد آن را « ناحیه اسمی خطر دید گسترده» می‌نامند.

۶۵-۳

فاصله اسمی خطر دید Nominal Ocular Hazard Distance

NOHD

مقدار فاصله از روزنه خروجی که در آن چگالی شار تابشی یا چگالی انرژی باریکه پایین‌تر از *MPE* مناسب برای قرنیه باقی بماند.

یادآوری ۱- اگر *NOHD*، شامل احتمال مشاهده با ابزار نوری باشد آن را «فاصله اسمی خطر دید گسترده» می‌نامند.

۶۶-۳

حالت کاری Operation

عملکرد محصول لیزری با تمام قابلیت‌های کاری مورد نظر

یادآوری ۱- این حالت کاری شامل نگهداری یا تعمیر نمی‌شود.

۶۷-۳

حد خطر فوتوشیمیایی Photochemical Hazard Limit

هریک از مقادیر *MPE* یا *AEL* که برای حفاظت افراد در برابر اثرات شیمیایی مضر نتیجه‌گیری شده‌اند.

یادآوری ۱- حد خطر فوتوشیمیایی، در محدوده طول‌موج فرابنفش، قرنیه و عدسی را در برابر اثرات مضر محافظت می‌کند، در حالی‌کهحد خطر فوتو شیمیایی شبکیه در گستره طول موج تعیین شده ۴۰۰nm تا ۶۰۰nm، از صدمات فوتوشیمیایی شبکیه در برابر تابش محافظت می‌کند.

۶۸-۳

بدنه محافظ Protective Housing

آن بخش‌هایی از محصول لیزری (دربرگیرنده محصول ترکیبی لیزر جاسازی شده) که برای جلوگیری از قرار گرفتن انسان در معرض تابش لیزر در بیش از AEL مورد نظر طراحی شده‌اند. (معمولا توسط سازنده نصب یا جمع می شود.)

یادآوری ۱- به زیربند ۵-۱ در رابطه با الزامات آزمون برای ارزیابی محفظه محافظتی مناسب برای جلوگیری از دسترسی انسان رجوع شود.

۶۹-۳

مدت زمان تپ Pulse Duration

مدت زمان اندازه‌گیری‌شده بین نقاط نیم‌قله توان در لبه جلویی و پشتی هر تپ.

۷۰-۳

لیزر تپی Pulsed Laser

لیزری که انرژی خود را به‌صورت تک تپ یا قطاری از تپ‌ها آزاد می‌سازد.

یادآوری ۱- در این استاندارد مدت زمان هر تپ کمتر از ۰٫۲۵ ثانیه است.

۷۱-۳

تابندگی Radiance

L

کمیتی که از رابطه زیر به‌دست می‌آید

$$L = \frac{d\Phi}{dA.\cos\theta\,.\,d\Omega}$$

در این رابطه

$d\Phi$ شار تابشی انتقال داده شده توسط یک باریکه اصلی با عبور از یک نقطه معین و انتشار در زاویه فضایی $d\Omega$ با مسیری معین است.

dAمساحت قسمتی از باریکه حاوی نقطه‌ای معین و

θ زاویه بین عمود بر سطح و موازی با باریکه است.

یادآوری ۱- این تعریف، تفسیر ساده شده از استاندارد IEV 845-01-34استکه برای مقصود این استاندارد کافی است. در مواردی که تردید وجود دارد، بهتر است از تعریف IEV تبعیت شود.

یادآوری ۲- واحد تابندگی در SI، وات بر مترمربع استرادیان $W.m^{-2}.sr^{-1}$است.

۷۲-۳

انرژی تابشی Radiant Energy

Q

انتگرال زمانی شار تابشی در مدت زمان Δt

$$Q = \int \Phi dt$$

یادآوری ۱- واحد انرژی تابشی در SI ژول (J) است.

۷۳-۳

چگالی انرژی Radiant Exposure

H

در نقطه‌ای روی یک سطح، انرژی تابشی فرودی روی عنصری از سطح تقسیم بر مساحت آن عنصر

$$H = \frac{dQ}{dA} = \int E dt$$

یادآوری ۱- واحد چگالی انرژی در SIژول برمترمربع($J.m^{-2}$)است.

۷۴-۳

توان تابشی Radiant Power

P

شار تابشی Radiant Flux

Φ

توان گسیل شده، تراگسیلیده یا به صورت تابش دریافت شده.

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

یادآوری ۱- واحد توان تابشی در SIوات (W)است.

۷۵-۳

بازتابندگی Reflectance

P

نسبت توان تابشی باز تابیده به توان تابشی فرودی در شرایط مورد نظر

یادآوری ۱- واحد بازتابندگی در SI نسبت بدون بعد است.

۳-۷۶

اتصال دهنده قفل همبندی از راه دور Remote Interlock Connector

اتصال‌دهنده‌ای که امکان اتصال کنترل‌های خارجی مجزا از دیگر اجزاء محصول لیزری را مقدور می‌سازد.

یادآوری ۱- به زیربند۶-۴ رجوع شود.

۳-۷۷

قفل همبندی ایمنی Safety Interlock

ابزار خودکار مرتبط با دیگر قسمت‌های بدنه محافظ محصول لیزری که هنگام برداشتن، باز کردن یا تعویض قسمتی از حفاظ، از دسترسی انسان به تابش‌های لیزر طبقه 3R،طبقه 3B یا طبقه ۴ ممانعت به‌عمل می‌آورد.

یادآوری ۱- به زیربند ۶-۳ رجوع شود.

۳-۷۸

تابش لیزر روبشی Scanning Laser Radiation

تابش لیزری که دارای جهت، مبداء یا نقش انتشاری متغیر با زمان نسبت به یک مرجع ثابت باشد.

۳-۷۹

تعمیر Service

اجرای دستورالعمل‌ها یا تنظیم‌هایی که در دستور کار تعمیر سازنده تشریح شده و می‌تواند روی هر جنبه از عملکرد محصول اثر بگذارد.

یادآوری ۱- این دستورالعمل‌ها شامل نگهداری یا حالت کاری نخواهند شد.

۳-۸۰

دریچه تعمیر Service Panel

دریچه دسترسی که جهت تعمیر برداشته یا جابجا می‌شود.

۳-۸۱

حالت تک اشکال Single Fault Condition

هرگونه تک اشکالی که ممکن است در یک محصول رخ دهد و پیامدهای مستقیمی که در ارتباط با آن خطا به وجود می‌آید.

۸۲-۳

چشمه کوچک Small Source

چشمه‌ای با یک حد زاویه‌ای α کوچکتر یا مساوی کمینه حد زاویه‌ای α_{min}

۸۳-۳

بازتاب آینه‌ای Specular Reflection

بازتابی از یک سطح که می‌تواند به‌عنوان باریکه در نظر گرفته شود، (به تعریف ۳-۱۱ رجوع شود) شامل بازتاب‌هایی از سطوح آینه‌ای

یادآوری ۱- این تعریف برای تشخیص آن‌که برخی سطوح بازتاب‌کننده از جمله بازتابنده‌های سهموی ممکن است خطر باریکه فرودی را افزایش داده یا در نهایت بدون تغییر آن را ترک کنند، در نظر گرفته می‌شود.

۸۴-۳

حد خطر گرمایی Thermal Hazard Limit

هریک از مقادیر *MPE* یا *AEL* که برای حفاظت افراد در برابر اثرات گرمایی مضر غیر از صدمات فوتوشیمیایی تقسیم‌بندی می‌شوند.

۸۵-۳

زمان مبنا Time Base

مدت زمان گسیلی که برای طبقه‌بندی محصولات لیزری در نظر گرفته می‌شود.

یادآوری ۱- به زیربند ۴-۳- ث رجوع شود.

۸۶-۳

ابزار Tool

منظور از ابزار عبارت است از: آچار، کلید شش‌گوشه یا جسم دیگری که بتواند برای باز و بسته کردن پیچ یا وسایل تثبیت کننده مشابه به‌کار رود.

۸۷-۳

تراگسیل Transmittance

τ

نسبت شار تابشی عبوری به شار فرودی در شرایط مورد نظر.

یادآوری ۱- واحد تراگسیل در SI نسبت بدون بعد است.

۸۸-۳

چگالی (نوری) تراگسیل Transmittance (Optical) Density
D
لگاریتم در مبنای ده معکوس تراگسیل.

$$D = -Log_{10}^{\tau}$$

۸۹-۳

تابش مرئی (نور) Visible Radiation (light)
هر تابش اپتیکی که مستقیماً قادر به تحریک مستقیم حس بینایی شود.

یادآوری ۱- در این استاندارد، منظور از تابش مرئی، تابش الکترومغناطیسی است که در گستره طول موج تکفام بین ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm قرار می‌گیرد.

۹۰-۳

قطعه کار Workpiece
هر شیئ که برای پردازش توسط تابش لیزر در نظر گرفته می‌شود.

۴ اصول طبقه‌بندی

۴-۱ کلیات

طبقه‌بندی یک محصول لیزری براساس تعیین تراز گسیل قابل دسترس (مطابق قوانین تعیین شده در بند ۵) و مقایسه آن تراز با حد گسیل قابل دسترس (*AEL*) مرتبط با هر طبقه است. برای طبقه ۱، طبقه 1M، طبقه ۲، طبقه 2M و طبقه 3R، اندازه‌گیری‌های بیشتر ممکن است برای تعیین شرایطی که هشدارهای اضافی ضروری هستند، لازم باشد. (بند ۷ را ببینید.) قوانین خاصی برای طبقه‌بندی یک محصول (مانند طبقه 1C، به زیربندهای ۵-۳-ب و ۴-۴ برای تابندگی خاص محصولات چشمه گسترده رجوع شود) به‌کار می‌روند.
به‌خاطر گستره وسیع محتمل برای طول‌موج، مقدار انرژی و مشخصات تپ باریکه لیزر، خطرات بالقوه ناشی از استفاده از آنها خیلی وسیع است. این ممکن نیست که لیزرها در یک گروه با محدودیت‌های مشترک ایمنی قابل کاربرد گنجانده شوند. پیوست پ خطرات مربوط به طبقه‌بندی‌ها و محدودیت‌های ممکن (برای مثال خطراتی که احتمال دارد در اثر مشاهده به کمک وسایل بصری بروز کند) را با جزئیات بیشتر توصیف می‌کند.

۴-۲ مسئولیت‌های طبقه‌بندی

این مسئولیت سازنده یا نمایندگی آن است که طبقه‌بندی صحیح محصول لیزری را ارائه کند. (با این حال به زیربند ۶-۱ رجوع شود.)

۴-۳ قوانین طبقه‌بندی

محصول باید براساس ترکیب توان(های) خروجی و طول‌موج(های) گسیل قابل دسترس (تابش لیزر) با تمام توانایی حین حالت کاری، در هر زمان پس از ساخت که در نتیجه، آن را به بالاترین طبقه مناسب اختصاص می‌دهد، طبقه‌بندی شود. ارزشیابی باید دربرگیرنده توصیف هرگونه حالت تک‌اشکال قابل پیش‌بینی منطقی حین کار باشد. (زیربند ۵-۱ در ارتباط با کاربرد اصول تجزیه و تحلیل ریسکبرای تعیین تک‌اشکال قابل پیش‌بینی منطقیاست.)

یک محصول لیزری تنها زمانی می‌تواند به طبقه خاصی اختصاص داده شود که تمامی الزامات در این استاندارد را برای آن طبقه در نظر گیرد، به‌عنوان مثال کنترل‌های مهندسی، برچسب‌زنی و اطلاعات مورد نیاز کاربر.

برای محصولات لیزری گسیل‌کننده باریکه‌های *CW* از یک تک طول‌موج که به خوبی موازی شده است یا فرض شده است که از یک چشمه کوچک است ، فرایند طبقه‌بندی می‌تواند ساده شود و در این‌صورت دیگر نیازی به در نظرگرفتن بندهای زیر نیست.

۴-۳- ب، ۴-۳- پ، ۴-۳- ت، ۴-۳- ج.

در جهت هدف قوانین طبقه‌بندی، رتبه‌بندی زیر برای طبقه‌ها باید استفاده شود (بر حسب افزایش خطر): طبقه ۱، طبقه 1C، طبقه 1M، طبقه ۲، طبقه 2M، طبقه 3R، طبقه 3B و طبقه ۴.

یادآوری ۱- طبقه 1C برای یک خطر چشمی در نظر گرفته نشده است (مشابه طبقه ۱)، اما ممکن است در صورت استفاده نامناسب،یک خطر پوستی ایجاد شود.

یادآوری ۲- برای طبقه‌بندی محصول لیزری به‌عنوان طبقه 1Mو 2Mاستفاده از یک روزنه معین به‌عنوان شرط ۳، مقدار تابش را که از قطر بزرگ یا باریکه‌هایی با واگرایی زیاد جمع‌آوری شده ، محدود می‌کند. در مواقعی ممکن است اندازه‌گیری تحت شرایط کاربردی محصولات طبقه1Mو طبقه 2M،دارای انرژی کل یا توان اندازه‌گیری شده بزرگتر از طبقه ۲ یا طبقه 3Rباشد. برای چنین محصولات لیزری، طبقه‌بندی1Mو 2M مناسب است.

حدود گسیل قابل دسترس *AELs* برای طبقه ۱ و 1M، طبقه ۲ و 2M، طبقه 3Rو 3B در جداول ۳ تا ۸ ارائه شده‌اند. مقادیر ضرایب تصحیح مورد استفاده، در جدول ۹ بر حسب طول موج، مدت زمان گسیل، تعداد تپ و حد زاویه‌ای آورده شده است.

الف- تابش تک طول موج:

یک محصول لیزری تک طول‌موج با گستره طیفی خط گسیلِ به اندازه کافی باریک که حد *AEL*در آن تغییری نمی‌کند، به طبقه‌ای اختصاص دارد، زمانی که تابش لیزر قابل دسترس تحت شرایط مناسب آن طبقه‌اندازه‌گیری شده و از*AEL*تمامی طبقات پایین‌تر تجاوز کند اما از طبقه اختصاص داده شده به آن بیشتر نشود.

ب- تابش چند طول‌موج:

۱- محصول لیزری که دو یا چند طول موج را در گستره‌های طیفی گسیل می‌کند،بصورت افزودنی در جدول ۱ نشان داده شده است، زمانی که مجموع نسبت‌های تابش لیزر قابل دسترس (اندازه‌گیری شده تحت شرایط مناسب آن طبقه) به *AEL*های طول‌موج‌های آن‌ها برای تمامی طبقات پایین‌تر، از مقدار واحد تجاوز کند ولی برای طبقه تعیین شده از مقدار واحد تجاوز نکند، به یک طبقه‌اختصاص داده می‌شود. این قانون نیز برای تابش غیرلیزر منطبق بر روی شبکیه برای طول‌موج‌های بین ۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm یا منطبق بر روزنه‌بند برای دیگر گستره‌های طول‌موجی به‌کارمی‌رود. بنابراین تابش غیرلیزر باید برای طبقه‌بندی تحت این استاندارد گنجانده شود.

۲- محصول لیزری که دو یا چند طول موج را گسیل می‌کند و در جدول ۱ بصورت افزودنیبرای چشم نشان داده نشده،به طبقه‌اياختصاص داده می‌شود،هنگامی که تابش لیزر قابل دسترس تحت شرایط مناسب آن طبقه‌اندازه‌گیری شد، از*AEL*های طبقات پایین‌تر برای حداقل یک طول موج تجاوز کرده ولی از*AEL* طبقه اختصاص داده شده برای هر طول‌موج تجاوز نکند.

جدول ۱- اثرات افزودنی روی چشم و پوست ناشی از تابش گستره‌های طیفی مختلف[c]

گستره طیفی[a]	*UV-C* و *UV-* ۱۸۰*B*nm تا ۳۱۵ nm	*UV-A* ۳۱۵nm تا ۴۰۰ nm	مرئیو*IR-A* ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰ nm	*IR-B* و*IR-C* ۱۴۰۰nm تا ۱۰۶ nm
UV-C و*UV-* ۱۸۰*B*nm تا ۳۱۵nm	o s			
UV-A ۳۱۵nm تا ۴۰۰ nm		o s	s	o s
مرئیو*IR-A* ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰ nm		s	[b] o s	s
IR-B و*IR-C* ۱۴۰۰nm تا ۱۰۶ nm		o s	s	o s
o (چشم) s (پوست)				

[a] برای تعریف گستره طیفی به جدول ت-۱ رجوع کنید.

[b] جایی که *AEL*ها و *MPE*های چشمی برای زمان‌های مبنا یا مدت زمان‌های پرتوگیری s ۱ یا بیشتر ارزیابی می‌شوند، بنابراین اثرات فوتوشیمیایی افزودنی (۴۰۰ nm تا ۶۰۰ nm) و اثرات گرمایی افزودنی (۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm) باید مستقل ارزیابی شوند و محدودکننده‌ترین مقادیر استفاده شوند.

[c] برای تعیین *AEL* تنها قوانین اضافی برای چشم به‌کار می‌روند.

پ- تابش از چشمه‌های گسترده

خطر چشمی یک چشمه لیزر در گستره طول موجی ۴۰۰ nmتا ۱۴۰۰ nm که به حد زاویه‌ای چشمه ظاهری α بستگی دارد. این وابستگی در مقادیر کاربردی AEL با ضریب C_6(جدول ۹)، همانند قوانین برای تعیین گسیل قابل دسترس با یک زاویه پذیرش معین بیان می‌شود.

یادآوری ۳-چشمه زمانی یک چشمه گسترده توصیف می‌شود که حد زاویه‌ای چشمه، بزرگتر از α_{min} جایی که α_{min}=۱٫۵ mrad باشد. اکثر چشمه‌های لیزر دارای یک حد زاویه‌ای α کوچکتر از α_{min}که به‌عنوان یک "چشمه نقطه‌ای" ظاهری (چشمه کوچک) هنگامی که از درون باریکه (مشاهده درون باریکه‌ای) دیده می‌شود به نظر می‌رسند. در واقع یک باریکه لیزر دایره‌ای نمی‌تواند تا واگرایی کمتر از ۱٫۵ mrad اگر آن یک چشمه گسترده باشد، موازی شود. بنابراین هر لیزر در جایی که واگرایی باریکه در هر صفحه ۱٫۵ mrad یا کمتر تعیین شده باشد، نمی‌تواند به‌عنوان یک چشمه گسترده رفتار کند. برای یک چشمه کوچک، αبرابر۱٫۵ mrad تنظیم شده و C_6 = ۱است.

یادآوری ۴- برای ارزشیابی خطر گرمایی شبکیه (۴۰۰ nmتا ۱۴۰۰ nm)، AELهای چشمه‌های گسترده مستقیماً با حد زاویه‌ای چشمه تغییر می‌کنند. برای ارزشیابی خطر فوتوشیمیایی شبکیه (۴۰۰ nmتا ۶۰۰ nm)، برای پرتوگیری‌های بیشتر از ۱ ثانیه، AELها مستقیماً با حد زاویه‌ای چشمه تغییر نمی‌کنند. بسته به مدت زمان گسیل (زیربند ۵-۴-۳-ب-۱)،یک زاویه پذیرش محدود کننده γ_{ph} ۱۱ mrad یا بیشتر برای اندازه‌گیری مربوط به خطر فوتوشیمیایی استفاده شده است و رابطه زاویه پذیرش محدودکنندهγ_{ph} با حد زاویه‌ای α چشمه ظاهری می‌تواند در مقادیر اندازه‌گیری شده تاثیر گذارد.

یادآوری ۵-برای شرط قراردادی C_6=1 ، جدول ساده شده ۳ برای AEL طبقه ۱ و 1M و جدول ساده شده ۶ برای AEL طبقه ۳R در نظر گرفته شده است.

برای چشمه‌های شامل یک زاویه کوچکتر یا مساوی با α_{min}، AEL و MPE مستقل از حد زاویه‌ای چشمه ظاهری αهستند.

برای محصولات لیزری طبقه‌بندی‌شده در محدودکننده ترین موقعیت، جایی که شرط ۱ به‌کار اعمال می‌شود (به زیربند ۵-۴-۳ رجوع شود.)، بزرگ‌نمایی ۷ برابری حد زاویه‌ای αچشمه ظاهری ممکن است برای تعیین C_6 به‌کار رود، یعنی $C_6 = 7 \times \alpha/\alpha_{min}$. بخش $7 \times \alpha$ باید قبل از محاسبه C_6 به α_{max}محدود شده باشد.۷ برابر شدن مقدار α باید برای تعیین T_2 در جدول ۹ استفاده شود.

یادآوری ۶- برای نمونه، جایی که α< 1.5 mradبوده اما α> 1.5 mrad 7 باشد، حدود برای α> 1.5 mrad در جدول ۴ و ۷ به‌کار می‌روند.

ت- چشمه‌های ظاهری غیریکنواخت، غیردایره‌ای و چندگانه

برای مقایسه با حدودگرمایی شبکیه، اگر:

- گستره طول موجی از ۴۰۰ nmتا ۱۴۰۰ nm است، و
- AEL به C_6 بستگی دارد.

بنابراین اگر:

- تصویر چشمه ظاهری دارای یک نیمرخ تابندگی یکنواخت نباشد، یا
- تصویر چشمه ظاهری شامل نقاط چندگانه باشد،

پس اندازه‌گیری‌ها یا ارزشیابی‌ها باید برای هر یک از موارد زیر انجام شود:

- برای هر تک نقطه، و
- برای مجموعه‌های مختلفی از نقاط، و
- برای نواحی جزئی.

اطمینان یافتن از این که AEL در هر مورد برای هر حد زاویه‌ای α افزایش نیابد ضروری است. برای ارزشیابی مجموعه‌ای از نقاط یا برای نواحی جزئی، زاویه پذیرش γ در هر بعد بین مقادیر α_{min} و α_{max} یعنی $\alpha_{min}<\gamma<\alpha_{max}$، برای تعیین گسیل قابل دسترس جزئی در ارتباط با موارد مربوط، متغیر است. برای مقایسه این ترازهای گسیل قابل دسترس جزئی با AEL مربوط، مقدار α معادل با حد زاویه‌ای که با تصویر جزئی چشمه ظاهری مطابقت دارد، تنظیم می‌شود.

طبقه‌بندی براساس موردی است که در آن نسبت بین:

- گسیل قابل دسترس جزئی در یک ناحیه جزئی بیش ازحد زاویه‌ای α آن ناحیه و
- AEL مربوطه

بیشینه است.

حد زاویه‌ای یک چشمه مستطیل شکل یا خطی به‌وسیله محاسبه مقدار میانگین دو بعد زاویه‌ای چشمه تعیین شده است. هر بعد زاویه‌ای که بزرگتر از α_{max} یا کمتر از α_{min} باشد، باید به ترتیب به α_{max} یا α_{min} قبل از محاسبه میانگین محدود شود.

برای تعیین حد زاویه‌ای یک چشمه غیردایره‌ای بزرگنمایی شده برای شرط ۱، برگنمایی ۷ برابر در قسمت پ باید به‌طور مستقل برای هر محور قبل از تعیین مقدار میانگین حسابی به‌کاررود.

محدودیت‌های فوتوشیمیایی (۴۰۰ nm تا ۶۰۰ nm) به حد زاویه‌ای چشمه بستگی نداشته و چشمه با زاویه محدود پذیرش که در زیربند ۵-۴-۳- ب تعیین شده، ارزیابی شده است. برای چشمه‌هایی که بزرگتر از زاویه پذیرش محدودکنندههستند، گسیل قابل دسترس باید برای چشمه ظاهری جزئی که مقدار بیشینه گسیل را ایجاد می‌کند تعیین شود.

ث-زمان‌های مبنا:

زمان‌های مبنای زیر در این استاندارد برای طبقه‌بندی استفاده می‌شوند:

۱) ۰٫۲۵ ثانیه برای تابش لیزر طبقه ۲، طبقه 2M و طبقه 3R در گستره طول موجی ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm

۲) ۱۰۰ ثانیه برای تابش لیزردر تمام طول موج‌های بیشتر از ۴۰۰ nm به‌جز موارد ذکر شده در ۱) و ۳)

۳) ۳۰۰۰۰ ثانیه برای تابش لیزردر تمام طول موج‌های کوچکتر یا مساوی ۴۰۰ nm و برای تابش لیزردر طول‌موج‌های بزرگتر از ۴۰۰ nm که مشاهده طولانی‌مدت عمدی به‌طور ذاتی در طراحی یا عملکرد محصول لیزری گنجانده شده باشد.

هر مدت زمان گسیل ممکن در زمان مبناباید هنگام تعیین طبقه‌بندی یک محصول توصیف شده باشد. به این معنی که تراز گسیل تک تپ باید با AEL به‌کار گرفته شده در مدت زمان تپ و غیره مقایسه شود. تنها میانگین‌گیری تراز گسیلی برای مدت زمانمبنای طبقه‌بندی، یا صرفاً انجام ارزشیابی برای مقدار زمان مبنا، بدون در نظر گرفتن مدت زمان‌های گسیل کوتاه‌تر کافی نیست.

یادآوری ۷- برای گسیل چندطول‌موجی محصول لیزری، با گسیل در نواحی طیفی مرئی و نامرئی که در آن گسیل به‌عنوان افزودنی (جدول ۲) ارزیابی شده است و جایی که بخش مرئی در آن خود را به‌عنوان طبقه ۲ یا 2M یا 3R طبقه‌بندی کرده و بخش نامرئی که در آن خود را به‌عنوان طبقه ۱ یا 1M طبقه‌بندی می‌کند، زمان مبنابرای ارزیابی گسیل اضافه‌شده ممکن است حتی برای بخش نامرئی ۰٫۲۵ ثانیه باشد.

ج- لیزرهای مدوله‌شده یا تپی تکرارپذیر

روش‌های زیر باید برای تعیین طبقه محصول لیزری و به‌کارگیری به‌عنوان گسیل مدوله‌شده یا تپی تکرارپذیر استفاده شوند.

به عنوان یک الزام عمومی، گسیل قابل دسترس گروهی از تپ‌ها (یا زیرگروهی از تپ‌ها در قطار تپ) که در زمانی معین ارسال شده‌اند (زیربند ۴-۳- ث را نیز ببینید) با توجه به در نظر گرفتن هر مدت زمان گسیل ممکن، نباید AEL را در این زمان معین افزایش دهد.

برای تمامی طول‌موج‌ها الزامات ۱) و ۲) باید ارزیابی شوند. علاوه بر این برای طول‌موج‌هایی از ۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm الزام ۳) نیز باید برای مقایسه با حدود گرمایی ارزیابی شود. الزام ۳) نیازی ندارد برای مقایسه با حدود فوتوشیمیایی نه برای تعیین AEL طبقه 3Bمورد ارزیابی قرار گیرد.

طبقه (به جداول ۳ تا ۸ رجوع شود) با استفاده از محدوترین حالات ۱)، ۲) و در صورت امکان ۳) تعیین می‌شود.

۱) پرتوگیری از هر تک تپ در قطاری از تپ، نباید از حد AEL برای تک تپ (AEL_{single}) بیشتر شود. برای تعیین گسیل قابل دسترس برای یک چشمه گسترده، مدت زمان تپ برای تعیین α_{max}و زاویه پذیرش γ_{th}استفاده می‌شود. (به زیربند ۵-۴-۳-ب و جدول ۹ رجوع شود.)

۲) توان میانگین برای یک سلسله تپ از مدت زمان گسیل T، نباید از توان مربوط با AEL برای تک تپ مدت زمان T (AEL_T) بیشتر شود. برای تعیین گسیل قابل دسترس برای یک چشمه گسترده، مدت زمان گسیل Tبرای تعیین α_{max}و زاویه پذیرش γ_{th}می‌شود. (به زیربند ۵-۴-۳-ب و جدول ۹ رجوع شود.)

برای طرح‌های تپ غیرمنظم (از جمله انرژی‌های تپ متنوع)، T بین Ti (جدول ۲) و زمان مبنا،متغیر است. برای طرح‌های تپ منظم، کافی است که میانگین‌گیری روی زمان مبنا انجام شود. (T معادل زمان مبناست.)

یادآوری ۸–برای مقایسه AEL_T با AEL_{single} یا $AEL_{s.p.train}$ ، برای تعیین معیاری که محدودکننده‌ترین معیار است، AEL_Tبه‌عنوان انرژی یا چگالی انرژی بیان می‌شود و به N تقسیم شده و $AEL_{s.p.T}$ نامیده می‌شود.

۳) الف) انرژی هر تپ نباید از AEL برای تک تپ که در ضریب تصحیح C_5 ضرب شده، بیشتر شود.

$$AEL_{s.p.train} = AEL_{single} \times C_5$$

که در آن

$AEL_{s.p.train}$، حد AEL برای تک تپ در قطار تپ است.

و AEL_{single} حد AEL برای تک تپ (جداول ۳ تا ۸) است.

و N تعداد تپ موثر در قطار تپ در مدت زمان گسیل ارزیابی شده است. (هنگامی که تپ‌ها در Ti(جدول ۲) رخ داده، Nکمتر از تعداد واقعی تپ‌ها است، در ادامه مشاهده کنید) بیشینه مدت زمان گسیل که برای ارزیابی، نیاز به توصیف دارد، T_2(به جدول ۹ رجوعشود) یا زمان مبنا کاربردی است، هرکدام که کوتاهتر باشد.

در اینجا C_5تنها برای مدت زمان‌های تپ مستقل کوچکتر یا مساوی ۰٫۲۵ ثانیه است.

اگر مدت زمان تپ $t \leq T_i$باشد، بنابراین:

برای زمان مبنایکوچکتر یا مساوی ۰٫۲۵ ثانیه، $C_5 = ۱$

برای زمان مبنایبزرگتر از ۰٫۲۵ ثانیه،

اگر $N \leq ۶۰۰$ ، $C_5 = ۱$است.

اگر $N > ۶۰۰$، $C_5 = 5N^{-0.25}$با یک کمینه مقدار $C_5 = ۰٫۴$است.

اگر مدت زمان تپ $t > T_i$باشد، بنابراین:

برای $\alpha <$ ۵ mrad: $C_5 = ۱$است.

برای $\alpha_{max} >>$ ۵ mrad :

اگر $N \leq ۴۰$ ، $C_5 = 5N^{-0.25}$است.

اگر $N > ۴۰$، $C_5 = ۰٫۴$است.

برای $\alpha > \alpha_{max}$:

اگر $N \leq ۶۲۵$، $C_5 = 5N^{-0.25}$است.

اگر $N > ۶۲۵$، $C_5 = ۰٫۲$است.

مگر اینکه $\alpha >$ ۱۰۰mrad کهدر آن در تمامی موارد $C_5 = ۱$است.

اگر چندین تپ در دوره زمانی T_i (جدول ۲) به وجود آمده باشند، آنها به‌عنوان یک تک تپ محاسبه می‌شوند که برای تعیین N و انرژی‌های تپ‌های مستقل برای مقایسه با AEL مربوط به T_i اضافه می‌شوند.

در اغلب موارد، مقدار محاسبه شده برای $AEL_{s.p.train}$ممکن است زیر مقدار AELی باشد که برای عملکرد CW در همان توان قله با استفاده از همان زمان مبنابه‌کار می‌رود. تحت این شرایط، ممکن استAEL برای عملکرد حالت CW استفاده شود.

جدول ۲- زمان‌های زیر که در آن گروه‌های تپ جمع شده‌اند.

T_i s	طول موج nm
۵×۱۰^{-۶}	$۴۰۰ \leq \lambda < ۱۰۵۰$
۱۳×۱۰^{-۶}	$۱۰۵۰ \leq \lambda < ۱۴۰۰$
$۱۰^{-۳}$	$۱۴۰۰ \leq \lambda < ۱۵۰۰$
۱۰	$۱۵۰۰ \leq \lambda < ۱۸۰۰$
$۱۰^{-۳}$	$۱۸۰۰ \leq \lambda < ۲۶۰۰$
$۱۰^{-۷}$	$۲۶۰۰ \leq \lambda \leq ۱۰^{۶}$

یادآوری ۹- نمونه‌هایی از محاسبات در پیوست ب ارائه شده‌اند.

۴-۴ محصولات لیزری طراحی شده برای کار به‌عنوان لامپ‌های متداول

برای محصولات لیزری، به غیر از اسباب بازی‌ها، که برای کار به‌عنوان لامپ‌های متداول طراحی شده‌اند و نوری مرئی و فروسرخ نزدیک (۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm) را از چشمه‌های گسترده با حد زاویه‌ای αبزرگتر از ۵mrad در فاصله ۲۰۰mm گسیل می‌کنند، و همچنین دارای ترازهای تابندگی قله کل (۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm)هستند که با یک زاویه پذیرش ۵mrad متوسط‌گیری شده‌اند، مقدار L_T را حین کار و شرایط تک‌اشکال قابل پیش‌بینی منطقی افزایش نمی‌دهند، که در آن

$$L_T = (1\ \mathrm{MW \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}})/\alpha$$

گسیل ممکن است در نهایت تحت مجموعه استانداردهای IEC 62471«ایمنیفوتوبیولوژیکی لامپ‌ها و سیستم-های روشنایی» ارزشیابی شود.

برای محاسبهL_T ، حد زاویه‌ای αدر واحد رادیان بیان شده و در فاصله ۲۰۰mm از نزدیکترین نقطه قابل دسترس انسان تعیین می‌شود. مقدار αدر تشریح L_Tبه مقادیر بین ۰٫۰۰۵rad و ۰٫۱rad محدود می‌شود، به طوری‌که برای چشمه‌هایی که در زاویه ۰٫۰۰۵rad محدود شده‌اند، مقیاس کاربردی تابندگی برابر $\mathrm{MW \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}}$ ۲۰۰[1] و برای چشمه‌هایی که بزرگتر از ۰٫۱rad هستند مقیاس کاربردی تابندگی برابر $۱۰\ \mathrm{MW \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}}$ است.

یادآوری ۱- مقادیر تابندگی که در بالا ذکر شد، حدود پرتوگیری یا حدود گسیل نیستند اما معیارهایی هستند که زمانی که تابش گسیل شده می‌تواند تحت مجموعه استانداردهای IEC 62471 ارزشیابی شود به‌کار می‌روند.

یادآوری ۲- تابش نوری از طبقه‌بندی لیزری که می‌تواند تکفام باشد مستثنی است.

چنین محصولی نیاز به تطابق و طبقه‌بندی طبق این استاندارد دارد به‌جز تابش نوری گسیلی که در حین عملکرد طبیعی در بالا ذکر شد و شرایط تک‌اشکال قابل پیش‌بینی منطقی نیازی به بررسی برای طبقه‌بندی ندارند (یعنی تابش نوری گسیلی که در حین عملکرد طبیعی در بالا ذکر شد به‌عنوان تابش لیزر قابل دسترس توصیف نمی‌شود). محصول باید با الزامات این استاندارد برای هر نوع تابش لیزر قابل دسترس حین تعمیر یا نگهداری تطابق داشته باشد.

یادآوری ۳- اگر هیچ تابش لیزرقابل دسترسی از چنین محصولی در حین عملکرد وجود نداشته باشد، به غیر از موارد ذکر شده در بالا که تحت استاندارد62471 IEC ارزشیابی شده‌اند، می‌تواند یک محصول لیزری طبقه ۱ در نظرگرفته‌شود.

چنین محصولی باید به‌عنوان یک گروه خطر تحت مجموعه استانداردهای IEC 62471 اختصاص داده شود و باید شامل یک برچسب بیانگر گروه خطر مانند طبقه‌بندی محصول لیزری (از جمله طبقه ۱ اگر قابل کاربرد باشد) و هشدارهای کاربردی باشد.

گسیل لیزر قابل دسترس با طول‌موج های زیر ۴۰۰nm یا بالای ۱۴۰۰nm در طبقه‌بندی محصول تحت این استاندارد درنظر گرفته می‌شوند.

۵ تعیین تراز گسیل قابل دسترس و طبقه‌بندی محصول

۵-۱ آزمون‌ها

آزمون‌ها باید تمامی خطاها و عدم قطعیت‌های آماری در فرآیند اندازه‌گیری و افزایش در گسیل و تضعیف در ایمنی تابش با زمان را درنظر گیرند. الزامات کاربری ویژه ممکن است آزمون‌های بیشتری را تحمیل کنند. برای راهنمایی بیشتر در مورد اندازه‌گیری‌ها، به استاندارد13-60825 IEC/TR رجوع کنید.

آزمون‌ها در حالت کاری باید برای تعیین طبقه‌بندی محصول استفاده شوند. آزمون‌های حالت کار، نگهداری و تعمیر باید به‌طور مناسب برای تعیین الزامات قفل‌های همبندی ایمنی، برچسب‌ها و اطلاعات برای کاربر استفاده شوند. آزمون‌های فوق باید تحت هر شرط تک اشکال قابل پیش‌بینی منطقی انجام شوند. به هر حال، اگر گسیل به ترازی زیر *AEL* توسط کاهش خودکار در مدت زمانی که میزان دسترسی انسان قابل پیش‌بینی منطقی نیست کاهش یابد، نیاز به درنظر گرفتن چنین اشکالاتی نیست. قابلیت اطمینان لازم برای کاهش خودکار تراز گسیل برای ماندن در یک طبقه معین، می‌تواند طبق اصول تحلیل ریسک،ارزیابی شود، برای نمونه همان‌طورکه در استاندارد61508 IECتوصیف شده است در جایی که ترازهای یکپارچگی ایمنی (SIL)[1] مشخص شده‌اند، علاوه بر مشخص کردن ترازهای (SIL)، زمان‌های واکنش بهاشکال نیز لازماست برای طراحی کاهش به طور خودکار، تعیین شوند؛ زمان واکنش مورد نظر می‌تواند بر اساس ریسکباشد.

تحلیل کامل بر طبق استاندارد61508 IEC یا با استفاده از استاندارد61508 IEC مورد نیاز نیست.

1-Safety Integrity Levels

تحلیل ریسکممکن است برای کمک به تعیین شرایط تک‌اشکال قابل پیش‌بینی منطقی، استفاده شود. برای تعیین این‌که یک شرط تک‌اشکال، قابل پیش‌بینی منطقی در نظر گرفته می‌شود یا خیر، باید هردو احتمال (فرکانس) برای اشکالو همچنین ریسکبرای آسیب (احتمال پرتوگیری تا ترازی که بتواند منجربه ایجاد آسیب و تشدیدآن شود) درنظر گرفته شود. هرچهریسکبرای آسیبحاصل از یک اشکال معین کمتر باشد، قابلیت پذیرش اشکال می‌تواند بیشترباشد(که در یک تراز گسیل معین حاصل می‌شود) و برای طبقه‌بندی در نظر گرفته نشود. یک حالت قابل قبول تحلیل احتمال و ریسکبا توجه به خطاها، *FMEA* (حالت خطا و تحلیل اثر)[1]است و روش-های اجرایی آندر استاندارد61508 IEC توصیف شده‌اند.

یادآوری ۱-کاهش خودکار شامل محدودیت فیزیکی گسیل است، مانندخرابی اجزاء یا سامانه که منجربه شرایط ایمن شده است. کاهش خودکار شامل کاهش دستی یا پایان دادن به گسیل نیست.

یادآوری ۲-برای مثال، یک حفاظ روبشی ممکن است به اندازه کافی برای جلوگیری از گسیل بیش از *AEL*در شرایط اشکال سریع عمل نکند، با این حال ممکن است برای محصولات در جایی که پرتوگیری افراد بعید است مورد قبول باشد.

یادآوری ۳-طبقه‌بندی درحالت کار تعیین می‌شود و بنابراین محدودیت‌ها در نگهداری، به طبقه‌بندی محصول وابسته است.

یادآوری ۴- شرایط تک‌اشکال می‌توانند با روش‌هایی غیر از روش‌های فیزیکی ایجاد اشکال برای آزمون، ارزیابی شوند.

هنگام ارزیابی مناسب بودن بدنه محافظ برای جلوگیری از دسترسی انسان به تراز انرژی که معادل طبقه ۴ است،باید رویدادهای تک اشکال که برای تمام تغییرات قابل پیش‌بینی منطقی مسیر باریکه روی می‌دهد در نظر گرفته شود. تحلیل باید شامل آن باشد که آیا تک‌اشکال موجب ایجاد انرژی کافی برای تضعیف یا تخریب بدنه محافظ خواهد شد. برای مثال، در حالت کاری یا حالت تک اشکال، با ورود سازوکارهای دست‌کاری باریکه به صورت خودکار یا دیگر سازوکارها، یا استفاده از قطعات اپتیکی یا قطعات کاری که موجبقرار گرفتنانرژی به‌طور مستقیم بر روی سطح بدنه محافظ می شود، یکی از حالت‌های زیر باید رخ دهد:

- تک اشکال باید توسط وسایل مهندسی برطرف شود، یا
- جنس بدنه محافظ باید انرژی را بدون کاهش خواص محافظتی خود به اندازه کافی تحمل کند تا پرتوگیری خطرناک انرژی لیزر را ممکن سازد، یا
- اشکال باید شناسایی شده و قبل از اینکه تخریبی صورت پذیرد، از گسیل تابش لیزر از بدنه محافظ ممانعت به‌عمل آید.

زمان‌های ارزشیابی کمتر از ۳۰۰۰۰ ثانیه برای بدنه محافظ در استاندارد IEC 60825-4 برای طبقه‌بندی محصول به‌کار نمی‌رود.

2-Failure Mode and Effect Analysis

یادآوری ۵- به این علت است که طبقه‌بندی بدون درنظر گرفتن دخالت انسان تعیین می‌شود (به زیربند ۶-۲-۱ رجوع کنید.) بنابراین بازرسی بدنه محافظ توسط کاربر در نظر گرفته نمی‌شود.

یادآوری ۶- ارزشیابی‌های بدنه محافظ،که در آن بازرسی یا دخالت انسانیرا درنظر می‌گیرند، ممکن است برای تعیین ترازهای ایمنی یا برای تعیین میزان تخریب بالقوه بدنه که از اشکال‌های غیر قابل پیش‌بینی یا اشکال‌های چندگانه نتیجه می‌شوند و مستقل از طبقه‌بندی محصول هستند مورد استفاده قرار گیرند.

تقویت‌کننده‌های نوری یا اپتیکی باید با استفاده از بیشینه توان یا انرژی خروجی کل قابل دسترس که ممکن است شامل بیشینه توان یا انرژی ورودی مجاز باشند، طبقه‌بندی شوند. در مواردی که حد توان یا انرژی خروجی به وضوح مشخص نیست، بیشینه توان یا انرژی که توسط تقویت‌کننده اضافه می‌شود به علاوه توان یا انرژی سیگنال ورودی لازم برای دستیابی به آن شرایط باید استفاده شود.
آزمون‌ها یا روش‌هایمعادل با روش‌های اجرایی تعیین‌شده در بند ۵، قابل قبول هستند.

۵-۲ اندازه‌گیری تابش لیزر

اندازه‌گیری ترازهای تابش لیزر ممکن است برای طبقه‌بندی یک محصول لیزری مطابق با زیربند ۵-۱ لازم باشد. اندازه‌گیری‌ها هنگامی که مشخصات فیزیکی و محدودیت‌های چشمه لیزر، محصول لیزری یا نصب لیزر را به‌وضوح در یک طبقه خاص قرار می‌دهد،لازم نیستند(با این حال اصول ارائه شده در الف) تا ج) نیاز به بررسی دارند.)
اندازه‌گیری‌ها باید تحت شرایط و روش‌های اجرایی زیر انجام شوند.
الف- شرایط و روش‌هایی اجراییکه ترازهای گسیل قابل دسترس را به بیشینه می‌رسانند، شامل روشن کردن، گسیل پایدار و خاموش کردن محصول لیزری.
ب- با تمام کنترل‌ها و تنظیم‌های مذکور در دستورالعمل‌های حالت کاری، نگهداری و تعمیر که به‌صورت ترکیبی تنظیم شدند منجر به تابش تراز بیشینه‌ی گسیل می‌شود. اندازه‌گیری‌هایی نیز الزامی است که با استفاده از لوازمی که ممکن است خطر تابش را افزایش دهند (برای مثال، اپتیک‌های موازی‌ساز) و توسط سازنده برای استفاده با محصول و آنچه که بتواند بدون ابزار اضافه یا برداشته شود، عرضه یا ارائه شده‌اند.

یادآوری - این، هر حالتی از محصول که ممکن است بدون استفاده از ابزار یا قطع قفل همبندی به آن رسید را شامل می‌شود، از جمله حالت‌ها و تنظیماتی که در برابر دستورالعمل‌های عملیاتی و نگهداری حاوی هشدارها می باشند. برای مثال، هنگامی که قطعات اپتیکی نظیر فیلترها، پخش‌کننده‌ها یا لنزها در مسیر نوری باریکه لیزر، می‌توانند بدون ابزار خاص برداشته شوند، محصول باید در حالتی که منجر به بالاترین تراز خطر می‌شود مورد آزمون قرار گیرد. دستورالعمل ارائه شده توسط سازنده، قطعات اپتیکی را که نمی‌توانند طبقه بندی را به‌عنوان طبقه پایین‌تر توجیه کنند، حذف نمی‌کند. طبقه‌بندی بر اساس طراحی مهندسی محصول است و نمی‌تواند بر اساس وضعیت مناسب کاربر باشد.

پ- برای محصول لیزری به غیر از سامانه لیزر که با گونه‌ای از منبع انرژی لیزر که توسط سازنده محصول لیزری سازگار معرفی شده، همراه است و بیشینه گسیل تابش قابل دسترس محصول را تولید می‌کند.
ت- در نقاطی از فضا که دسترسی انسان در حال کار برای اندازه‌گیری ترازهای گسیل قابل دسترس امکان‌پذیر است. (برای مثال، اگر کارکرد ممکن است برداشتن بخشی از بدنه محافظ و قطع قفل‌های همبند ایمنی را الزامی نماید، اندازه‌گیری‌ها باید در نقاط قابل دسترس در آن پیکربندی محصول انجام شود.)
ث- با آشکارساز ابزار اندازه‌گیری که با توجه به محصول لیزری چنان قرار گرفته و جهت‌گیری شده که در نتیجه آن بیشینه تابش لیزر را توسط ابزار دریافت کند.
ج- شرایط مناسب باید برای جلوگیری یا حذف تاثیر تابش‌های جانبی در اندازه‌گیری به‌وجود آید.

۳-۵ تعیین طبقه محصول لیزری

حدود *AEL* طبقه ۱ و1Mدر جدول ۳ و ۴ معین شده‌اند، *AEL* طبقه ۲ در جدول ۵ ، *AEL* طبقه 3R در جدول ۶ و ۷، و *AEL* طبقه 3B در جدول ۸ارائه شده‌اند. ضرایب تصحیح C_1تاC_7و نقاط انفصال[1] T_1 و T_2 که در جداول ۳ تا ۸ مورد استفاده قرار گرفته‌اند، در جدول ۹ مشخص شده‌اند.

الف- طبقه‌های ۱ و 1M

طبقه ۱ برای گستره طول‌موجی ۱۸۰ nm تا ۱ mm به‌کار برده می‌شود. طبقه 1M برای گستره طول موجی ۳۰۲٫۵ nm تا ۴۰۰۰ nm به‌کار برده می‌شود. برای تعیین گسیل قابل دسترس تحت شرط ۱ و شرط ۳ به جدول ۱۰ رجوع شود.
برای طول موج‌های کمتر از ۳۰۲٫۵ nm و بزرگتر از ۴۰۰۰ nm، اگر گسیل قابل دسترس کوچکتر یا مساوی *AEL* طبقه ۱ برای شرط ۳ باشد، محصول لیزری طبقه ۱ در نظر گرفته می‌شود.
برای طول‌موج های بین ۳۰۲٫۵ nm تا ۴۰۰۰ nm:
اگر گسیل قابل دسترس:

- کوچکتر یا مساوی *AEL* طبقه ۱ برای شرط ۱ و شرط ۳ باشد.

بنابراین محصول لیزری طبقه ۱ در نظر گرفته می‌شود.
اگر گسیل قابل دسترس:

- بزرگتر از *AEL* طبقه ۱ برای شرط ۱ باشد؛ و
- کوچکتر از *AEL* طبقه 3B برای شرط ۱ باشد؛ و
- کوچکتر از *AEL* طبقه ۱ برای شرط ۳ باشد،

بنابراین محصول لیزری در طبقه 1M در نظر گرفته می‌شود.

1-Breakpoints

یادآوری ۱-دلیل صحه‌گذاری*AEL* طبقه 3B، محدود کردن بیشینه توان عبوری از یک وسیله اپتیکی برای مورد پرتوگیری یک باریکه از محصول لیزری طبقه 1Mاست.

اگر گسیل قابل دسترس *AEL* طبقه 3B که با روزنه‌ای با قطر ۳٫۵ mm مشخص شده و در نزدیکی نقطه دسترسی انسان قرار گرفته است افزایش یابد، یک هشدار اضافی با توجه به خطر بالقوه برای پوست و/یا خطر قرنیه/عنبیه باید تعیین شود. (به زیربند ۷-۱۳ رجوع شود.)

یادآوری ۲-ممکن است که محصول لیزری طبقه ۱ با باریکه‌ای با واگرایی بالا، بتواند ترازهای چگالی شار تابشی به اندازه کافی بالا را نزدیک به یا در تماس با چشمه (برای مثال نوک فیبر) ایجاد کند که آسیب پوست یا عنبیه را ممکن می‌سازد. آسیب قرنیه ممکن است تحت این شرایط برای طول‌موج‌های بزرگتر از ۱۰۰۰ nm نیز ممکن باشد.

ب- طبقه 1C

طبقه 1Cدرصورتی بکار می‌رود که تابش لیزر برای استفاده در حالت تماسی با هدف مورد نظر بوده و دارای حفاظجهت جلوگیری از نشت تابش لیزر بیش از *AEL* طبقه ۱ باشد. محصول لیزری فقط وقتی می‌تواند به‌عنوان طبقه 1C اختصاص داده شود که با مجموعه‌ای از الزامات ایمنی برای محصول لیزری طبقه 1C،موجود در یک استاندارد کاربردی IEC مطابقت داشته باشد.

محصولات لیزری مد نظر که در حالت تماسی با پوست و بافت غیرچشمی استفاده می‌شوند، می‌توانند به‌عنوان طبقه 1C طبقه‌بندی شوند فقط اگر که یک استاندارد در مجموعه استانداردIEC 60601 یا IEC 60335در مورد آن‌ها کاربرد داشته و شامل مجموعه‌ای از الزامات ایمنی باشد که به‌طور مشخص به محصولات لیزری طبقه 1C نسبت داده شده است. چنین محصولات لیزری طبقه 1C باید کنترل‌های مهندسی را برای اطمینان از اینکه پرتوگیری از تابش لیزر به چشم به طور منطقی قابل پیش‌بینی نباشد، دربرگیرد. طبقه‌بندی به‌عنوان طبقه 1C تنها زمانی مجاز است که یک استاندارد قابل استفاده IEC موجود باشد که در آن کنترل‌های مهندسی برای جلوگیری گسیل به فضای پیرامون یا به چشم را معین می‌کند و پرتوگیری بافت هدف مورد نظر را به ترازهایی که برای کاربردهای مد نظر مناسب هستند، محدود می‌کند.

برای آزمون تابش نور سرگردان یا نشتی، *AEL*طبقه 1 نباید تحت شرط ۳ با نازل قرار گرفته در فاصله کاری یا در تماس با یک سطح سفید پخش‌کننده تجاوز نماید.

یادآوری ۳- محصول لیزری طبقه 1Cبه‌طور نوعی شامل لیزرهایی هستند که برای برداشتن مو، رفع چین و چروک پوست و رفع آکنه و آنهایی که برای مصارف خانگی استفاده می‌شوند.

پ- طبقه‌های ۲ و 2M

طبقه‌های ۲ و2Mبرای گستره طول موجی ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm کاربرد دارند. برای تعیین گسیل قابل دسترس تحت شرط ۱ و شرط ۳ به جدول ۱۰ رجوع شود.

اگر گسیل قابل دسترس از حدود الزامی برای طبقه ۱ و طبقه 1Mتجاوز نماید (به قسمت الف- که در بالا ذکر شده رجوعشود) و

- کوچکتر یا مساوی *AEL* طبقه ۲ برای شرط ۱ و شرط ۳ باشد،

بنابراین محصول لیزری در طبقه ۲ در نظر گرفته می‌شود.

اگرگسیل قابل دسترس حدود مورد نیاز برای طبقه ۱ و برای طبقه 1M را افزایش دهد (به قسمت الف- که در بالا ذکر شده رجوع شود) و

- بزرگتر از *AEL* طبقه ۲ برای شرط ۱باشد؛ و
- کوچکتر از *AEL* طبقه 3B برای شرط ۱باشد؛ و
- کوچکتر از *AEL* طبقه ۲ برای شرط ۳ باشد،

بنابراین محصول لیزری در طبقه2Mدر نظر گرفته می‌شود.

یادآوری ۴-دلیل صحه‌گذاری*AEL* طبقه 3B، محدود کردن بیشینه توان عبوری از یک وسیله اپتیکی برای مورد پرتوگیری یک باریکه از محصول لیزری طبقه 2Mاست.

اگر گسیل قابل دسترس *AEL* طبقه 3B که با روزنه‌ای با قطر ۳٫۵ mm مشخص شده و در نزدیکی نقطه دسترسی انسان قرار گرفته است افزایش یابد، یک هشدار اضافی با توجه به خطر بالقوه برای پوست و/یا خطر قرنیه/عنبیه باید ارائه شود. (به زیربند ۷-۱۳رجوع شود.)

یادآوری ۵:ممکن است که محصول لیزری طبقه ۲ با باریکه‌ای با واگرایی بالا، بتواند ترازهای چگالی شار تابشی به اندازه کافی بالا را نزدیک به یا در تماس با چشمه (برای مثال نوک فیبر) ایجاد کند که آسیب پوست یا عنبیه را ممکن می‌سازد.

خارج از گستره طول‌موجی ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm هر گسیل اضافی از لیزرهای طبقه ۲ باید زیر حد *AEL* طبقه ۱ باشد.(به زیربند ۴-۳-ث برای زمان مبنارجوع شود.) علاوه بر این، اگر طول‌موج‌ها برای چشم (جدول ۱) اضافه شوند، مجموع نسبت‌های نور مرئی قابل دسترس به *AEL* طبقه ۲ و نور نامرئی قابل دسترس به *AEL* طبقه ۱ باید کوچکتر از ۱ باشد.

ت- طبقه 3R

اگر گسیل قابل دسترس، همان‌طورکه مطابق با زیربند ۵-۴ تعیین شده برای شرط ۱ و شرط ۳،

- کوچکتر یا مساوی با *AEL* طبقه 3Rباشد، و
- گسیل قابل دسترس تعیین شده با شرط ۳ از حد *AEL* برای طبقه ۱ و طبقه ۲ تجاوز نماید

بنابراین محصول لیزری در طبقه 3R در نظر گرفته می‌شود.

اگر گسیل قابل دسترس *AEL* طبقه 3B که با روزنه‌ای با قطر ۳٫۵ mm مشخص شده و در نزدیکی نقطه دسترسی انسان قرار گرفته است افزایش یابد، یک هشدار اضافی با توجه به خطر بالقوه برای پوست و/یا خطر قرنیه/عنبیه باید ارائه‌شود.(به زیربند ۷-۱۳ رجوع شود.)

یادآوری ۶-ممکن است محصول لیزری طبقه 3Rبا باریکه‌ای با واگرایی بالا، بتواند ترازهای چگالی شار تابشی به اندازه کافی بالا را نزدیک به یا در تماس با چشمه (برای مثال نوک فیبر) ایجاد کند که باعث آسیب پوست یا عنبیه شود. آسیب قرنیه ممکن است تحت این شرایط برای طول‌موج های بزرگتر از ۱۰۰۰ nm نیز اتفاق افتد.

ث- طبقه 3B

اگر گسیل قابل دسترس، همان‌طورکه مطابق با زیربند ۵-۴ تعیین شده

- کوچکتر یا مساوی با *AEL* طبقه 3B برای شرط ۱ و شرط ۳باشد و
- از حد *AEL* برای طبقه 3Rبرای شرط ۱ و شرط ۳تجاوز نماید و
- از حد *AEL* برای طبقه ۱ و طبقه ۲ برای شرط ۳تجاوز نماید

بنابراین محصول لیزری در طبقه 3B در نظر گرفته می‌شود.

ج- طبقه ۴

اگر گسیل قابل دسترس، همان‌طورکه مطابق با زیربند ۵-۴ تعیین شده برای شرط ۱ یا شرط ۳، از*AEL* طبقه 3Bتجاوز نماید، محصول باید در طبقه ۴ در نظر گرفته شود.

جدول۳- حدود گسیل قابل دسترس برای محصولات لیزری طبقه۱و طبقه 1M و ۱= $C_6^{a,b}$

طول موج λ nm	مدت زمان گسیل t s										
	10^{-13}تا10^{-11}	10^{-11}تا10^{-9}	10^{-9}تا10^{-7}	10^{-7}تا 5×10^{-6}	5×10^{-6} تا $1{,}3\times10^{-5}$	1×10^{-3}تا 3×10^{-5}	1×10^{-3}تا $0{,}35\times10^{-3}$	۱۰تا ۰٫۳۵	۱۰۲تا۱۰	۱۰۳تا۱۰۲	۱۰۴تا۳×۱۰۳
۱۸۰تا ۳۰۲/۵	3×10^{10} W·m^{-2}		۳۰ J·m^{-2}								
۳۰۲٫۵ تا ۳۱۵	$2{,}4\times10^{4}$ W		خطرات فوتوشیمیایی $7{,}9\times10^{-7}C_2$ J $(t>T_1)$				خطرات گرمایی $(t\le T_1)$ $7{,}9\times10^{-7}C_1$J			$7{,}9\times10^{-7}C_2$ J	
۳۱۵ تا ۴۰۰			$7{,}9\times10^{-7}C_1$J						$7{,}9\times10^{-3}$ J	$7{,}9\times10^{-6}$ W	
۴۰۰ تا ۴۵۰	$3{,}8\times10^{-8}$ J		$7{,}7\times10^{-8}$ J		$7\times10^{-4}t^{0.75}$J				$3{,}9\times10^{-3}$ J	$3{,}9\times10^{-5}C_2$W	
۴۵۰ تا ۵۰۰									$3{,}9\times10^{-3}C_2$ J و $3{,}9\times10^{-4}$ W		
۵۰۰ تا ۷۰۰									$3{,}9\times10^{-4}$ W		
۷۰۰ تا ۱۰۵۰	$3{,}8\times10^{-8}$ J		$7{,}7\times10^{-8}C_4$ J		$7\times10^{-4}t^{0.75}C_4$ J				$3{,}9\times10^{-4}C_4C_2$W		
۱۰۵۰[d] تا ۱۴۰۰	$3{,}8\times10^{-8}C_2$J		$7{,}7\times10^{-8}C_2$ J		$3{,}5\times10^{-3}t^{0.75}C_2$ J						
۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰	8×10^{5} W		8×10^{-4} J		$4{,}4\times10^{-3}t^{0.25}$J		$10^{-2}t$ J		1×10^{-2} W		
۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰	8×10^{6}W		8×10^{-3} J				$1{,}8\times10^{-2}t^{0.75}$ J				
۱۸۰۰ تا ۲۶۰۰	8×10^{5}W		8×10^{-4} J		$4{,}4\times10^{-3}t^{0.25}$ J		$10{,}0^{-2}t$ J				
۲۶۰۰ تا ۴۰۰۰	8×10^{4} W		8×10^{-5} J		$4{,}4\times10^{-3}$ t $^{0.25}$ J		$10{,}0^{-2}t$ J				
۴۰۰۰ تا 10^{6}	10^{11} W·m^{-2}		۱۰۰J·m^{-2}		$5600t^{0.25}$ J·m^{-2}				۱۰۰۰ W·m^{-2}		

یادآوری – محصولات لیزری که الزامات طبقه‌بندی به‌عنوان طبقه ۱ را برآورده می سازنداز طریق تامین اندازه‌گیری شرط ۱ که ممکن است به هنگام استفاده از ابزار اپتیکی دارای بزرگنمایی بیشتر از ۷ برابر یا قطرهای عدسی بزرگتر از آنچه که در جدول ۱۰ مشخص شده است، خطرناک باشند.

[a] برای ضرایب تصحیح و واحدها به جدول ۹ مراجعه کنید.

[b] مقادیر AEL برای مدت زمان‌های گسیل کمتر از 10^{-13} ثانیه برابر با توان یا چگالی شار تابشی معادلAEL در 10^{-13}ثانیه درنظر گرفته می‌شوند.

[c] در گستره طول موجی بین ۴۵۰ nm و ۵۰۰ nmحدود دوگانه‌ای به‌کار می‌روند و گسیل محصول نباید از هریک از دو حد قابل کاربرد برای طبقه اختصاص داده شده تجاوز نماید.

[d] در گستره طول‌موجبین ۱۲۵۰ nm و ۱۴۰۰ nm، مقدار بالای AEL به مقدار AELبرای طبقه 3B محدود می‌شود.

جدول ۴- حدود گسیل قابل دسترس برای محصولات لیزری طبقه۱ و 1M در گستره طول موجی از ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm

(ناحیه خطر شبکیه): چشمه های گسترده [a,b,c,d,e,f]

طول موج λ nm	مدت زمان گسیل t s						
	10^{-13} تا 10^{-11}	10^{-11} تا 5×10^{-6}	5×10^{-6} تا $1/3\times10^{-5}$	$1/3\times10^{-5}$ تا $10^{-5}\times$ [e]	10 تا 10^{2}	10^{2} - 10^{4}	10^{4} تا 3×10^{4}
۴۰۰ تا ۷۰۰	$3/8\times10^{-8}C_E$ J	$7/7\times10^{-8}C_E$ J	$7\times10^{-4}t^{0.75}C_E$ J	خطرات فوتوشیمیایی شبکیه ای [d, e] – ۴۰۰ nm تا ۶۰۰ nm			
				$3/9\times10^{-3}C_3$ J بااستفاده از γ_{ph} = ۱۱ mrad	$3/9\times10^{-5}C_3$ W بااستفاده از $\gamma_{ph}= 1/1t^{0.5}$ mrad	$3/9\times10^{-5}C_3$ W بااستفاده از γ_{ph} = ۱۱۰ mrad
				و [c]			
				خطرات گرمایی شبکیه‌ای – ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm			
				$7\times10^{-4}C_E T_2^{-0.25}$ W $(t>T_2)$ / $(t\le T_2)$ $7\times10^{-4}t^{0.75}C_E$ J			
۷۰۰ تا ۱۰۵۰	$3/8\times10^{-8}C_4C_E$ J	$7/7\times10^{-8}C_4C_E$ J	$7\times10^{-4}t^{0.75}C_4C_E$ J	$7\times10^{-4}C_4C_E T_2^{-0.25}$ W $(t>T_2)$ / $(t\le T_2)$ $7\times10^{-4}t^{0.75}C_4C_E$ J			
۱۰۵۰ [d] تا ۱۴۰۰	$3/8\times10^{-8}C_E C_7$J	$7/7\times10^{-7}C_E C_7$ J	$3/5\times10^{-3}t^{0.75}C_E C_7$ J	$3/5\times10^{-3}C_E C_7 T_2^{-0.25}$ W $(t>T_2)$ / $(t\le T_2)$ $3/5\times10^{-3}t^{0.75}C_E C_7$ J			

یادآوری- محصولات لیزری که الزامات طبقه‌بندی به‌عنوان طبقه ۱ را برآورده می سازند از طریق تامین اندازه‌گیری شرط ۱ که ممکن است به هنگام استفاده از ابزار اپتیکی دارای بزرگنمایی بیشتر از ۷ برابر یا قطرهای عدسی بزرگتر از آنچه که در جدول ۱۰ مشخص شده است، خطرناک باشند.

[a] برای ضرایب تصحیح و واحدها، به جدول ۹مراجعه کنید.

[b] مقادیر AEL برای مدت زمان‌های گسیل کمتر از 10^{-13} ثانیه برابر با توان یا چگالی شار تابشی معادل AEL در 10^{-13}ثانیه درنظر گرفته می‌شوند.

[c] در گستره طول‌موجی بین ۴۰۰nm و ۶۰۰nm، حدود دوگانه‌ای به‌کار می‌روند و گسیل محصول نباید از هر یک از دو حد قابل کاربرد برای طبقه اختصاص داده شده تجاوز نماید.

[d] زاویه γ_{ph}، زاویه اندازه‌گیری شده محدودکننده پذیرش است.

[e] اگر زمان‌های پرتوگیری بین ۱ s و ۱۰ s استفاده شوند، برای طول موج‌های بین ۴۰۰nm تا ۴۸۰nm و برای اندازه‌های چشمه ظاهری بین ۱/۵mrad و ۸۲mrad حدود دوگانه خطر فوتوشیمیایی $3/9\times10^{-5}C_3$J به ۱ s افزایش می‌یابد.

[f] در گستره طول‌موجبین ۱۲۵۰ nm و ۱۴۰۰nm، مقدار بالای AEL به مقدار AEL برای طبقه 3B محدود می‌شود.

جدول ۵- حدود گسیل قابل دسترس برای محصولات لیزری طبقه ۲ و طبقه 2M

طول موج λ nm	مدت زمان گسیل t s	طبقه ۲ AEL
۴۰۰ تا ۷۰۰	$t<۰/۲۵$ $t\geq۰/۲۵$	مشابه AEL طبقه ۱ $C_۶\times۱۰^{-۳}W^{a}$
یادآوری-محصولات لیزری که الزامات طبقه‌بندی به‌عنوان طبقه ۲را برآورده می سازند از طریق تامین اندازه‌گیری شرط ۱ که ممکن است به هنگام استفاده از ابزار اپتیکی دارای قطرهای عدسی بزرگتر از آنچه که در جدول ۱۰ مشخص شده است، خطرناک باشند.(به پیوست پ مراجعه کنید).		
[a] برای ضرایب تصحیح و واحدها، به جدول ۹ مراجعه کنید.		

جدول ۶- حدود گسیل قابل دسترس برای محصولات لیزری طبقه 3R و ۱= $C_6^{a,b,c}$

طول‌موج λ nm	مدت زمان گسیل t s									
	10^{-13} تا 10^{-11}	10^{-11} تا 10^{-9}	10^{-9} تا 10^{-7}	10^{-7} تا 5×10^{-6}	5×10^{-6} تا $1{,}3 \times 10^{-5}$	$1{,}3 \times 10^{-5}$ تا 1×10^{-3}	1×10^{-3} تا ۰٫۳۵	۰٫۳۵ تا ۱۰	۱۰ تا 10^{3}	10^{3} تا 3×10^{4}
۱۸۰ تا ۳۰۲٫۵	$1{,}5 \times 10^{11}$ W·m^{-2}		۱۵۰ J·m^{-2}							
۳۰۲٫۵ تا ۳۱۵	$1{,}2 \times 10^{5}$ W		خطرات فوتوشیمیایی $4 \times 10^{-6} C_3$ J $(t > T_1)^c$ خطرات گرمایی $4 \times 10^{-6} C_1$ J $(t \le T_1)^c$							$4 \times 10^{-6} C_3$ J
۳۱۵ تا ۴۰۰			$4 \times 10^{-6} C_1$ J						4×10^{-2} J	4×10^{-5} W
۴۰۰ تا ۷۰۰	$1{,}9 \times 10^{-7}$ J	$3{,}8 \times 10^{-7}$ J				5×10^{-3} W $(t \ge 0{,}25$ s) $(t < 0{,}25$ s) $3{,}5 \times 10^{-3} t^{0.75}$ J				5×10^{-3} W
۷۰۰ تا ۱۰۵۰	$1{,}9 \times 10^{-7} C_4$ J	$3{,}8 \times 10^{-7} C_4$ J				$3{,}5 \times 10^{-3} t^{0.75} C_4$ J				$2 \times 10^{-3} C_4 C_7$ W
۱۰۵۰[d] تا ۱۴۰۰	$1{,}9 \times 10^{-6} C_7$ J	$3{,}8 \times 10^{-6} C_7$ J				$1{,}8 \times 10^{-2} t^{0.75} C_7$ J				
۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰	4×10^{6} W	4×10^{-3} J			$2{,}2 \times 10^{-2} t^{0.25}$ J	$5 \times 10^{-2} t$ J				5×10^{-2} W
۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰	4×10^{7} W	4×10^{-2} J				$9 \times 10^{-2} t^{0.75}$ J				
۱۸۰۰ تا ۲۶۰۰	4×10^{6} W	4×10^{-3} J			$2{,}2 \times 10^{-2} t^{0.25}$ J	$5 \times 10^{-2} t$ J				
۲۶۰۰ تا ۴۰۰۰	4×10^{5} W	4×10^{-4} J		$2{,}2 \times 10^{-2} t^{0.25}$ J		$5 \times 10^{-2} t$ J				
۴۰۰۰ تا 10^{6}	5×10^{11} W·m^{-2}	۵۰۰ J·m^{-2}	$2{,}8 \times 10^{4} t^{0.25}$ J·m^{-2}							۵۰۰۰ W·m^{-2}

[a] برای ضرایب تصحیح و واحدها، به جدول ۹ را مراجعه کنید.

[b] مقادیر AEL برای مدت زمان‌های گسیل کمتر از 10^{-13} ثانیه برابر با توان یا چگالی شار تابشی معادل AEL در 10^{-13} ثانیه درنظر گرفته می‌شوند.

[c] برای لیزرهای تپی UV تکرارپذیر هیچ حدی نباید تجاوز نماید.

[d] در گستره طول‌موجین 1250 nm و 1400 nm ، مقدار بالای AEL به مقدار AEL برای طبقه 3B محدود می‌شود.

جدول ۷- حدود گسیل قابل دسترس برای محصولات لیزری طبقه 3R در گستره طول‌موجی از ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm

(ناحیه خطر شبکیه): چشمه‌های گسترده [a,b]

طول‌موج λ nm	مدت زمان گسیل t s				
	10^{-13} تا 10^{-11}	5×10^{-11} تا 10^{-6}	$1{,}3\times10^{-5}$ تا 5×10^{-5}	$0{,}25\times10^{-5}$ تا $1{,}3$	$0{,}25$ تا 10	10 تا 3×10^{4}
۴۰۰ تا ۷۰۰	$1{,}9\times10^{-7}C_6$ J	$3{,}8\times10^{-7}C_6$ J	$5\times10^{-3}C_6$ W ($t\geq 0{,}25$ s) / ($t<0{,}25$ s) $3{,}5\times10^{-3}t^{0{,}75}C_6$ J			$5\times10^{-3}C_6$ W
۷۰۰ تا ۱۰۵۰	$1{,}9\times10^{-7}C_6$ J	$3{,}8\times10^{-7}C_4C_6$ J	$3{,}5\times10^{-3}t^{0{,}75}C_4C_6$ J			$3{,}5\times10^{-3}C_4C_6T_2^{-0{,}25}$ W ($t>T_2$) / ($t\leq T_2$) $3{,}5\times10^{-3}t^{0{,}75}C_4C_6$ J
۱۰۵۰[c] تا ۱۴۰۰	$1{,}9\times10^{-6}C_6C_7$ J	$3{,}8\times10^{-6}C_6C_7$ J		$1{,}8\times10^{-2}t^{0{,}75}C_6C_7$ J		$1{,}75\times10^{-2}C_6C_7T_2^{-0{,}25}$ W ($t>T_2$) / ($t\leq T_2$) $1{,}75\times10^{-2}t^{0{,}75}C_6C_7$ J

[a] برای ضرایب تصحیح و واحدها، به جدول ۹مراجعهکنید.

[b] مقادیر AEL برای مدت زمان‌های گسیل کمتر از 10^{-13} ثانیه برابر با توان یا چگالی شار تابشی معادل AEL در 10^{-13}ثانیه درنظر گرفته می‌شوند

[c] در گستره طول‌موجبین ۱۲۵۰ nm و ۱۴۰۰nm ، مقدار بالای AEL به مقدار AEL برای طبقه 3B محدود می‌شود.

جدول ۸- حدود گسیل قابل دسترس برای محصولات لیزری طبقه 3B[a]

طول‌موج λ nm	مدت زمان گسیل t s		
	$<10^{-9}$	**10^{-9} تا ۰٫۲۵**	**۰٫۲۵ تا 3×10^{4}**
۱۸۰ تا ۳۰۲٫۵	$3{,}8 \times 10^{5}$W	$3{,}8 \times 10^{-4}$J	$1{,}5 \times 10^{-3}$W
۳۰۲٫۵ تا ۳۱۵	$1{,}25 \times 10^{4} C_2$W	$1{,}25 \times 10^{-5} C_2$J	$5 \times 10^{-5} C_2$W
۳۱۵ تا ۴۰۰	$1{,}25 \times 10^{8}$W	۰٫۱۲۵J	۰٫۵W
۴۰۰ تا ۷۰۰	3×10^{7}W	$t<$۰٫۰۶ s برای ۰٫۰۳J $t \geq$ ۰٫۰۶s برای ۰٫۵W	۰٫۵W
۷۰۰ تا ۱۰۵۰	$3 \times 10^{7} C_4$W	$t<$۰٫۰۶C_4 s برای ۰٫۰۳C_4J$t \geq$ ۰٫۰۶C_4 s برای ۰٫۵W	۰٫۵W
۱۰۵۰ تا ۱۴۰۰	$1{,}5 \times 10^{8}$W	۰٫۱۵J	۰٫۵W
۱۴۰۰ تا 10^{6}	$1{,}25 \times 10^{8}$W	۰٫۱۲۵J	۰٫۵W

[a] برای ضرایب تصحیح و واحدها به جدول ۹ مراجعه کنید.

ضرایب تصحیح C_1 تا C_7 و نقاط انفصال T_1 و T_2 مورد استفاده در جداول ۳ تا ۸ در جدول ۹ تعریف شده‌اند.

جدول ۹- ضرایب تصحیح و نقاط انفصال برای استفاده در ارزشیابی‌های *AEL* و *MPE*

پارامتر	گستره طیفی (nm)
$C_1 = ۵/۶ \times ۱۰^{۳}\ t^{۰/۲۵}$	۱۸۰ تا ۴۰۰
$T_1 = {}^{۰/}۱۰^{۸(\lambda - ۲۹۵)} \times ۱۰^{-۱۵}\ s$	۳۰۲/۵ تا ۳۱۵
$C_2 = ۳۰$	۱۸۰ تا ۳۰۲/۵
$C_2 = {}^{۰/}۱۰^{۲(\lambda - ۲۹۵)}$	۳۰۲/۵ تا ۳۱۵
$T_3 = ۱۰ \times ۱۰^{[(\alpha-\alpha_{min})/۹۸/۵]}\ s$ برای $\alpha_{min} < \alpha \leq ۱۰۰\ mrad$	۴۰۰ تا ۱۴۰۰
$T_2 = ۱۰\ s$ برای $\alpha \leq ۱/۵\ mrad$	۴۰۰ تا ۱۴۰۰
$T_2 = ۱۰۰\ s$ برای $\alpha > ۱۰۰\ mrad$	۴۰۰ تا ۱۴۰۰
$C_3 = ۱$	۴۰۰ تا ۴۵۰
$C_3 = {}^{۰/}۱۰^{۰۲(\lambda - ۴۵۰)}$	۴۵۰ تا ۶۰۰
$C_4 = {}^{۰/}۱۰^{۰۰۲(\lambda - ۷۰۰)}$	۷۰۰ تا ۱۰۵۰
$C_4 = ۵$	۱۰۵۰ تا ۱۴۰۰
$C_5 = ۱$	۱۸۰ تا ۴۰۰ و ۱۴۰۰ تا $۱۰^{۶}$
$C_5 = N^{-۱/۴a}$	۴۰۰ تا ۱۴۰۰
$C_6 = ۱$	۱۸۰ تا ۴۰۰ و ۱۴۰۰ تا $۱۰^{۶}$
$C_6 = ۱$ برای $\alpha \leq \alpha_{min}{}^{b}$	۴۰۰ تا ۱۴۰۰
$C_6 = \alpha/\alpha_{min}$ برای $\alpha_{min} < \alpha \leq \alpha_{max}{}^{b}$	۴۰۰ تا ۱۴۰۰
$C_6 = \alpha_{max}/\alpha_{min}$ برای $\alpha > \alpha_{max}{}^{b,c}$	۴۰۰ تا ۱۴۰۰
$C_7 = ۱$	۷۰۰ تا ۱۱۵۰
$C_7 = {}^{۰/}۱۰^{۰۱۸(\lambda - ۱۱۵۰)}$	۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰
$C_7 = ۸ + {}^{۰/}۱۰^{۰۴(\lambda - ۱۲۵۰)}$	۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰

$\alpha_{min} = ۱/۵\ mrad$

$\alpha_{max} = ۵\ mrad$ برای $t < ۶۲۵\mu s$

$۲۰۰\ t^{۰/۵}\ mrad$ برای $۶۲۵\mu s \leq t \leq ۰/۲۵\ s$

$۱۰۰\ mrad$ برای $t > ۶۲۵\mu s$

N تعداد تپ‌های موجود در مدت زمان کاربردی است. ((۴-۳-ج) و بند الف-۳)

یادآوری۱- تنها شواهد محدودی در مورد اثرات پرتوگیری‌های کمتر از $۱۰^{-۹}s$ برای طول‌موج‌های کمتر از ۴۰۰nm و بزرگتر از ۱۴۰۰nm وجود دارند. مقادیر *AEL*برای این مدت زمان‌های گسیل و طول موج‌ها با محاسبه معادل توان تابشی یا چگالی شار تابشی از توان تابشی یا چگالی انرژی به‌کار رفته در $۱۰^{-۹}s$ برای طول‌موج‌های کمتر از ۴۰۰nm و بزرگتر از ۱۴۰۰nm به‌دست می‌آیند.

یادآوری ۲-به جدول ۱۰ برای روزنه‌بندها و جدول الف-۴ برای روزنه‌های محدودکننده مراجعه کنید.

یادآوری ۳- در فرمول، در جدول‌های ۳ تا ۸ و در این یادداشت‌ها، طول‌موج باید در واحد نانومتر ، مدت زمان گسیل tباید در واحد ثانیه و αباید در واحد میلی‌رادیان بیان شوند.

یادآوری ۴- برای مدت زمان‌های گسیل که در مقادیر مرزی سلول قرار می‌گیرند (برای مثال ۱۰s) در جدول‌های ۳ تا ۸، حدود پایین‌تر به‌کار می‌روند. جایی که در آن نماد "<" استفاده می‌شود، به معنی کمتر از یا مساوی با است. زمانی که گستره‌های طول‌موج مشخص هستند،گستره طول‌موج λ_1تاλ_2به معنی $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2$است.

جدول ۹- ادامه

[a] ضریب C_5 فقط برای مدت زمان تپ کمتر از ۰٫۲۵ s به‌کار می‌رود.
[b] ضریب C_ε فقط برای حدود گرمایی شبکیه به‌کار می‌رود.
[c] بیشینه زاویه محدودکننده پذیرش γ_{th} باید مساوی با α_{max} باشد. (اما به زیربند ۴-۳-پ مراجعه کنید.)

۵-۴ هندسه اندازه‌گیری

۵-۴-۱ کلیات

دو شرط اندازه‌گیری برای تعیین گسیل قابل دسترس مشخص شده‌اند. شرط ۱ برای طول‌موج‌هایی به‌کار می‌رود که در آن مشاهده با کمک اپتیک بزرگ کننده انجام می‌شود، امکان خطر را افزایش می‌دهد. شرط ۳ برای چشم غیرمسلح به‌کار می‌رود. برای اندازه‌گیری توان یا انرژی تابش لیزر روبشی فقط شرط ۳ باید استفاده شود.
برای طبقه‌بندی محصولات لیزری مورد نظر فقط جهت استفاده در داخل و جایی که مشاهده درون باریکه‌ای با ابزار اپتیکی بزرگ‌کننده‌ای همچون دوربین‌های دوچشمی قابل پیش‌بینی نیست، نیازی به اعمال شرط ۱ نیست.

یادآوری ۱- شرط اندازه‌گیری ۳ شامل ارزشیابی قابلیت در دسترس بودن تابش برای مشاهده با یک عینک بزرگ‌کننده با توان پایین می‌شود. مشاهده با ابزار اپتیکی بزرگ‌کننده با توان بالا همان‌گونه‌که ممکن است در سامانه‌های فیبر نوری رخ دهد در استاندارد IEC 60825-2 گنجاده شده است. حدود طرح طبقه‌بندی در پیوست ج-۳ ، نمونه‌های پیشنهادی راکه ممکن است برای تحلیل ریسکو هشدارهای بیشتر مناسب باشند مورد بحث قرار می‌دهد. شرط ۲ در ویرایش قبلی این استاندارد به عنوان شرط «عینک‌ها یا شیشه‌های بزرگ‌کننده» استفاده می‌شد.

محدودکننده‌ترین شرایط اندازه‌گیری کاربردی باید مورد استفاده قرار گیرند. اگر محدودکننده‌ترین شرط مشخص نباشد، هرکدام از شرایط باید مورد ارزیابی قرار گیرند. برای طبقه‌های 1M و 2M هر دو شرط همواره نیاز به ارزشیابی دارند.

دو طرح ارزشیابی زیر تعیین شده‌اند.
الف- یک روش ساده شده (به‌طور پیش‌فرض) آن است که آزمون برای طبقه‌بندی در یک فاصله ثابت (به جدول ۱۰ رجوع شود.) نسبت به یک نقطه مرجع که به‌طور معمول می‌تواند به سادگی تعیین شود، انجام شود. (به جدول ۱۱ رجوع شود.) برای این ارزشیابی ساده شده، تعیین حد زاویه‌ای چشمه ظاهری، مانند C_6 (به جدول ۹ رجوع شود.) که معادل واحد است، ضروری نیست.
ب- برای تابشی با طول موج‌هایی در گستره خطر شبکیه‌ای از ۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm، هنگامی که AEL توسط پارامتر C_6 با مقادیر بزرگتر از ۱ برای چشمه‌های گسترده افزایش می‌یابد، دسترسی به طبقه محصول (یعنی مقایسه مقدار گسیل قابل دسترس با AELمربوطه) در محدودکننده‌ترین موقعیت در باریکه ضروری نیست. روش دوم پیچیده‌تر از ارزشیابی پیش‌فرض در بخش الف) است، اما می‌تواند، برای چشمه‌های گسترده اجازه مقادیر گسیل قابل دسترس بالاتر را بدهد.

یادآوری ۲- محدودکننده‌ترین موقعیت در اکثر موارد نه در فاصله ۱۰۰ mm نسبت به نقطه مرجع بلکه برای ارزشیابی بنیادی در دور مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعیین حد زاویه‌ای چشمه ظاهری در یک فاصله ۱۰۰ mm از نقطه مرجع، از *AEL*ی نتیجه خواهد شد که از *AEL*تعیین شده در محدودکننده‌ترین موقعیت تجاوز نماید.

اگر ارزشیابی ساده شده منجر به طبقه‌بندی طراحی شده شود، نیازی به انجام ارزشیابی کامل برای چشمه‌های گسترده وجود ندارد (به زیربند ۵-۴-۳ رجوع شود.)، حتی اگر برای چشمه حقیقی امکان گستردگی باشد و ضریب حقیقی C_6 بزرگتر از ۱ و محدودکننده‌ترین موقعیت متفاوت از موقعیت تعیین شده در جدول ۱۰ باشد.

یادآوری ۳ - اگر چشمه، یک دیود لیزر ساده باشد یا اگر باریکه لیزر موازی شده خوبی را گسیل کند، ارزشیابی ساده شده معمولاً مناسب است، یعنی تولید نتایج معادل با روش چشمه گسترده که در زیربند ۵-۴-۳ توصیف شده است.

۵-۴-۲ ارزشیابی پیش‌فرض (ساده شده)

فواصل اندازه‌گیری ساده شده و پیش‌فرض در جدول ۱۰ قابل اجرا هستند.:

- برای چشمه‌هایی با طول موج‌های کوچکتر از ۴۰۰ nm و بزرگتر از ۱۴۰۰ nm یا
- اگر ضریب C_6 مساوی ۱ در نظر گرفته شود، یا
- برای حد فوتوشیمیایی شبکیه‌ای برای مقادیر زمان مبنایبیشتر از ۱۰۰ s هنگامی که اندازه‌گیری زاویه پذیرش محدود نشده است. (یعنی باید در نهایت به بزرگی حد زاویه‌ای چشمه ظاهری باشد.)
- برای حدود دیگر که نه حدود شبکیه‌ای فوتوشیمیایی و نه گرمایی هستند (یعنی به C_6 بستگی ندارد.)(مانند *AEL* طبقه 3B)

فواصلی که در جدول ۱۰ مشخص شده‌اند به‌عنوان فاصله از نقاط مرجع گردآوری شده در جدول ۱۱ تعیین شده‌اند.

جدول ۱۰- قطرهای روزنه اندازه گیری و فواصل اندازه گیری برای ارزشیابی پیش فرض (ساده شده)

	شرط ۱ برای باریکه موازی‌شده، جایی که به‌عنوان مثال، تلسکوپ یا دوربین دوچشمی ممکن است خطر را افزایش دهند به‌کار می‌رود [a]		**شرط ۲** قابل اعمال برای سامانه‌های مخابرات فیبر نوری، به استاندارد IEC 60825-2 مراجعه کنید.	**شرط ۳** برای تعیین تابش مربوط به چشم حفاظت نشده، برای ذره‌بین‌های کم توان و برای باریکه-های روبشی به‌کار می‌رود.	
طول‌موج nm	**روزنه‌بند** mm	**فاصله** mm	**روزنه‌بند** mm **فاصله** mm	**روزنه‌بند/ روزنه محدودکننده** mm	**فاصله** mm
<۳۰۲٫۵	–	–		۱	۰
۳۰۲٫۵≤تا ۴۰۰	۷	۲۰۰۰		۱	۱۰۰
۴۰۰≤تا ۱۴۰۰	۵۰	۲۰۰۰	به یادآوری ۱ زیربند ۵-۴-۱ مراجعه کنید.	۷	۱۰۰
۱۴۰۰≤تا ۴۰۰۰	۷ × شرط ۳	۲۰۰۰	به یادآوری ۱ زیربند ۵-۴-۱ مراجعه کنید.	برای $t \leq$ ۰٫۳۵ s ۱ $t \geq 1{,}5t^{3/8}$ برای ۰٫۳۵ s $< t <$ ۱۰ s برای ۱۰ s ۳٫۵	۱۰۰
۴۰۰۰ ≥ تا 10^5	–	–		برای $t \leq$ ۰٫۳۵ s ۱ $t \geq 1{,}5t^{3/8}$ برای ۰٫۳۵ s $< t <$ ۱۰ s برای ۱۰ s ۳٫۵	۰
10^5≤تا 10^6	–	–		۱۱	۰
یادآوری- توضیحات زیر عناوین «شرط»موارد معمولی تنها جهت اطلاع هستند و منحصر به فرد در نظر گرفته نمی‌شوند.					
[a] شرط ۱ برای طبقه‌بندی محصولات لیزری مورد نظر فقط برای استفاده درونی و جایی که مشاهده درون باریکه‌ای با ابزار اپتیکی بزرگ‌کننده‌ای همچون دوربین‌های دوچشمی قابل پیش‌بینی نیست، به‌کار نمی‌رود.					

جدول ۱۱- نقاط مرجع برای شرط ۳

نوع محصول	نقاط مرجع
گسیلنده‌های نیمه‌هادی (مانند دیودهای لیزری، دیودهای بسیار نورانی[1])	موقعیت فیزیکی تراشه گسیل‌کننده
گسیل روبشی (شامل لیزرهای خطی روبشی)	راس روبش (نقطه محوری باریکه روبشی)
لیزر خطی	نقطه کانونی خط (راس زاویه)
خروجی فیبر	نوک فیبر
چشمه‌های به طور کامل پراکنده	سطح پخش‌کننده
سایر	کمر باریکه
برای اندازه‌گیری تحت شرط ۳،اگر نقطه مرجع درون بدنه محافظ (یعنی قابل دسترس نیست) در یک فاصله از نزدیکترین نقطه دسترسی انسان، بیشتر از فاصله اندازه‌گیری‌شده تعیین شده در جدول ۱۰ باشد، اندازه‌گیری باید در نزدیکترین نقطه از دسترس انسان انجام شود. برای شرط ۱ اندازه‌گیری‌ها در کمینه فاصله ۲ متری از نزدیکترین نقطه به دسترس انسان صرف‌نظر از مکان چشمه انجام می‌شوند.	

۵-۴-۳ شرط ارزشیابی برای چشمه‌های گسترده

برای طول موج‌هایی درگستره خطر شبکیه‌ای (۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm)، گسیل قابل دسترس و AEL برای طبقه‌بندی باید در محدودکننده ترین موقعیت تعیین شوند:

- هنگامی که مقدار C_6 بزرگتر از ۱ برای تعیین AEL تعیین شده باشد، یا
- هنگامی که یک زاویه محدود پذیرش برای تعیین گسیل قابل دسترس جهت مقایسه با حدود شبکیه‌ای فوتوشیمیایی در نظر گرفته شود.

گسیل قابل دسترس و AEL (C_6) با هم در موقعیت‌های متفاوت درون باریکه تعیین شده‌اند (یعنی آن‌ها مقادیر جفت‌شده هستند) و مقادیر برای محدودکننده‌ترین موقعیت برای تعیین طبقه محصول به‌دست آمده است. این امر نشان‌دهنده آن است که گسیل قابل دسترس (که با AEL مقایسه شده است) و AEL برای همان موقعیت درون باریکه تعیین شده‌اند، یعنی حد زاویه‌ای چشمه ظاهری α(و در نتیجه C_6) در موقعیت روزنه‌بند تعیین شده است که برای تعیین گسیل قابل دسترس استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری شرط ۳، مکان اندازه‌گیری هرگز نزدیک‌تر از فاصله اندازه‌گیری پیش‌فرض از نقطه مرجع برای شرط ۱ نیست، مکان اندازه‌گیری هرگز نزدیک‌تر از ۲ متری نقطه مرجع اندازه گیری چشمه کوچک نیست. در موردی که در آن واگرایی باریکه لیزر کمتر از ۱٫۵ mrad است، حد زاویه‌ای چشمه ظاهری αکوچکتر از α_{min}است و تعیین گسیل قابل دسترس ممکن است تحت شرایط مشخص شده در زیربند ۵-۴-۲ انجام شود.

1- Superluminescent

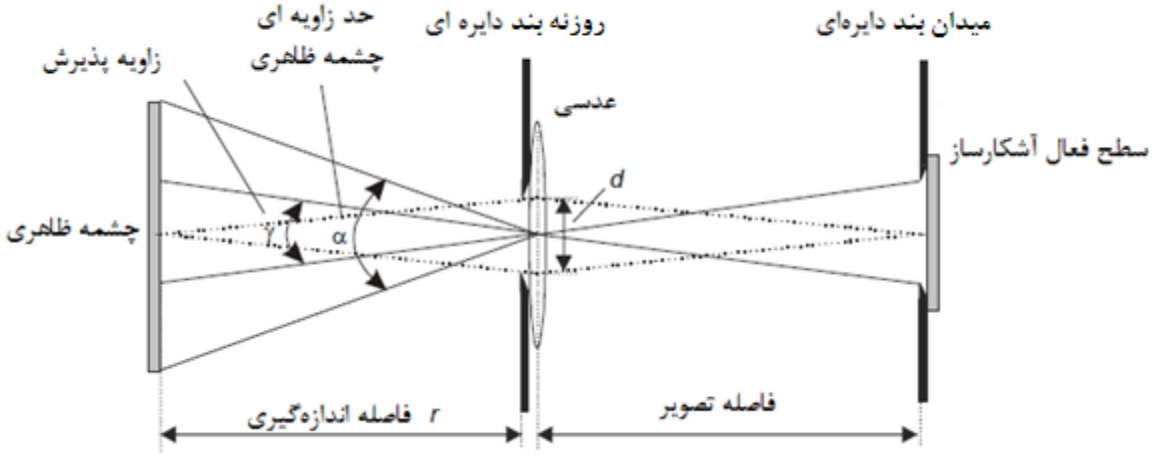
یادآوری ۱- اگر چشمه پراکنده است، برای مثال یک باریکه لیزر فرودی روی صفحه پخش‌کننده تراگسیلی، بنابراین پخش‌کننده می‌تواند به‌عنوان مکان چشمه ظاهری در نظر گرفته شده و طرح گسیل در پخش‌کننده می‌تواند برای تعیین حد زاویه‌ای چشمه ظاهری (به زیربند ۴-۳- ت رجوعشود.) برای روش ارزشیابی طرح‌های غیریکنواخت استفاده شود.

یادآوری ۲-در برخی تنظیمات پیچیده‌تر با چشمه‌های چندگانه یا نقاط کانونی چندگانه، ممکن است استفاده از روش‌های جزئی‌تری مانند ردیابی اشعه، مناسب‌تر باشد.

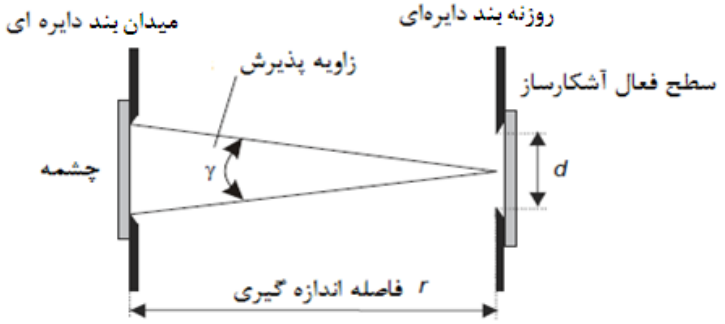
یادآوری ۳- برای محصولات لیزری گسیل‌کننده یک باریکه روبشی، بسته به شرط مطابق با تصویر چشمه ظاهری، یک باریکه روبشی می‌تواند در تصویری از چشمه ظاهری نتیجه شود که روبشی را که در شبکیه آغاز می‌کند، در یک چشمه ظاهری متحرک نتیجه می‌دهد. اگریک چشمه ظاهری متحرک برای طبقه‌بندی محاسبه شود، طبقه‌بندی محصول براساس روش ارزشیابی توصیف شده در اینجا برای چشمه‌های گسترده (در مقابل تحلیل ساده شده که در آن یک چشمه کوچک ثابت فرض می‌شود) انجام می‌شود. چشمه ظاهری متحرک همان‌طورکه در زیربند ۴-۳- ت توصیف شده‌است با توضیح طبیعت تپ تکرارپذیر گسیل قابل دسترس تعیین شده با زاویه پذیرش مربوطه ارزشیابی می‌شود.

الف- قطرهای روزنه

برای شرط ۱ و شرط ۳، برای تعیین گسیل قابل دسترس، مانند حد زاویه‌ای چشمه ظاهری (هر دو که در محدودکننده‌ترین موقعیت در باریکه تعیین شده‌اند)، قطرهای روزنه و کمترین فواصل اندازه گیری همانطور که در جدول ۱۰ تعیین شده، باید استفاده شوند. (شکل‌های ۱ و ۲)



شکل ۱- چیدمان اندازه‌گیری برای محدودکردن زاویه پذیرش توسط تصویرسازی چشمه ظاهری روی سطح میدان‌بند



یادآوری ۴- زمانی که چشمه ظاهری قابل دسترس نیست، این چیدمان مناسب نیست.

شکل ۲- چیدمان اندازه‌گیری برای محدود کردن زاویه پذیرش با قرار دادن روزنه‌ی دایره‌ای یا یک ماسک (به‌عنوان میدان‌بند) نزدیک به چشمه ظاهری

ب- زاویه پذیرش

زاویه پذیرش، زاویه‌ای است که با قطر میدان‌بند از یک نقطه در مرکز عدسی در شکل ۱(برای زوایای کوچک) محدود شده است، یا با نسبت قطر میدان‌بند و فاصله چشمه- آشکارساز (شکل ۲) تعیین می‌شود. تلفات ناشی از عدسی‌ها نیز باید در نظر گرفته شوند.

برای شرط ۳، زاویه پذیرش برای تعیین تراز گسیل قابل دسترس باید مطابق بخش های ۱) و ۲) زیر در نظر گرفته شوند. برای شرط ۱، زاویه پذیرش توسط تقسیم مقادیر داده‌شده در ۱) و ۲) به ضریب ۷ تعیین می‌شود.

۱) حدود شبکیه‌ای فوتو شیمیایی

برای اندازه‌گیری‌های چشمه‌هایی که با حدود فوتوشیمیایی ارزشیابی شده‌اند (۴۰۰nm تا ۶۰۰ nm)، زاویه پذیرش محدودکنندهγ_{ph} در جدول ۱۲ معین شده است.

جدول ۱۲- زاویه پذیرش محدود کننده‌ی γ_{ph}

مدت زمان گسیل s	γ_{ph} برای شرط ۱ mrad	γ_{ph} برای شرط ۳ mrad
$۱۰<t\leq۱۰۰$	۱٫۶	۱۱
$۱۰۰<t\leq۱۰^{۴}$	$۰٫۱۶\times t^{۰٫۵}$	$۱٫۱t^{۰٫۵}$
$۱۰^{۴}<t\leq۳\times ۱۰^{۴}$	۱۶	۱۱۰

اگر حد زاویه‌ای چشمه α بزرگتر از زاویه پذیرش محدودکننده معین γ_{ph} باشد، زاویه پذیرش نباید بزرگتر از زاویه محدود پذیرش γ_{ph} باشد. اگر حد زاویه‌ای چشمه αکوچکتر از زاویه پذیرش محدودکننده معین γ_{ph}باشد،

زاویه پذیرش باید به‌طور کامل، چشمه تحت نظر را در بر گیرد اما به آن نیازی ندارد، در غیر این صورت به خوبی تعریف شده است. (یعنی زاویه پذیرش نیازی به محدود شدن تا γ_{ph} ندارد.)

یادآوری ۵-برای اندازه‌گیری چشمه‌های تکی جایی که $\alpha<\gamma_{ph}$است ، اندازه‌گیری با زاویه پذیرش خاص و کاملاً معین ضروری نخواهد بود. برای به‌دست آوردن یک زاویه پذیرش کاملاً معین، زاویه پذیرش می‌تواند توسط هر یک از دو تصویرسازی چشمه روی یک میدان‌بند یا با پوشاندن چشمه تعیین شود- شکل‌های ۱ و ۲ را به ترتیب مشاهده کنید.

۲) تمام حدود شبکیه‌ای دیگر

برای اندازه‌گیری تابش در مقایسه با حدود شبکیه‌ای به‌غیر از حدود فوتوشیمیایی، زاویه پذیرش باید به‌طور کامل چشمه تحت نظر را در برگیرد. (یعنی زاویه پذیرش باید در نهایت به بزرگی حد زاویه‌ای چشمه αباشد.) با این حال اگر$\alpha>\alpha_{max}$باشد، زاویه پذیرش محدودکننده α_{max}(۱۰۰mrad) است. در گستره طول موجی ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm برای ارزشیابی یک چشمه ظاهری که شامل نقاط چندگانه است، زاویه پذیرش در محدوده $\alpha_{min}<\gamma<\alpha_{max}$ متغیر است. (به زیربند ۴-۳ ت رجوع شود.)

۶ مشخصات مهندسی

۶-۱ نکات و اصلاحات کلی

محصولات لیزری به برخی ویژگی‌های ایمنی تعبیه شده، بسته به طبقه‌ای که توسط سازنده مشخص شده است، نیاز دارند. این الزامات در زیربندهای ۶-۲ تا ۶-۱۳ آمده‌اند. سازنده باید اطمینان داشته باشد که کارکنان دارای مسئولیت طبقه‌بندی محصولات و سامانه‌های لیزری آموزش لازم را در حدی مناسب به‌نحوی که بتوانند از عهده درک و به‌کارگیری کامل ترتیب‌های طبقه‌بندی برآیند، دیده باشند.

اگر اصلاح محصولات لیزری که قبلاً طبقه‌بندی شده‌اند در هر جنبه از عملکرد دستگاه یا وظایف کاری آن طبق اهداف این استاندارد تاثیر بگذارد، شخص یا سازمان اجراکننده آن تغییرات موظف به تجدید طبقه‌بندی و بر چسب‌گذاری محصول لیزری است.

یادآوری –اصطلاح اصلاح، با محدود کردن به آن اصلاحاتی که طبقه‌بندی یا مطابقت با این استاندارد را تغییر می‌دهند قابل درک است.

۶-۲ بدنه محافظ

۶-۲-۱ کلیات

هر محصول لیزری باید دارای یک بدنه محافظ باشد، به‌طوری‌که وقتی سر جای خود قرار گرفت، مانع دسترسی انسان به تابش لیزر (شامل تابش لیزر منحرف شده) بیش از حدAEL طبقه ۱ شود، غیر از زمانی که دسترسی انسان برای حالت کاری محصول لازم باشد.

هنگامی که طبقه‌بندی محصول لیزری بر اساس جلوگیری دسترسی انسان به تراز انرژی معادل طبقه ۴ (به‌طور مثال برای ماشین‌های پردازش لیزری) باشد، بدنه محافظ باید پرتوگیری تحت شرایط تک اشکال قابل پیش‌بینی منطقی را بدون دخالت انسان تحمل کند (به زیربند ۵-۱ رجوع شود.). اگر بدنه محافظ در اندازه‌ای است که از ورود افراد جلوگیری می‌کند به زیربند ۶-۱۳رجوع کنید.

نگهداری محصولات لیزری طبقه ۱، 1M، 1C، ۲، 2M یا 3R نباید دسترسی انسان به ترازهای تابشی لیزر طبقه 3B یا طبقه ۴ را اجازه دهد. نگهداری محصولات لیزری طبقه 3B نباید دسترسی انسان به ترازهای تابشی لیزر طبقه ۴ را اجازه دهد.

۶-۲-۲ تعمیر

هر قسمتی از بدنه محافظ یا محفظه محصول لیزری (شامل لیزرهای جاسازی شده) که می‌تواند هنگام تعمیر برداشته یا جابجا شود بنحوی که اجازه دسترسی به تابش لیزر بیش از *AEL* را ممکن سازد و قفل همبند ایمنی نشده باشند (به زیربند ۶-۳ رجوع شود.) باید به‌گونه‌ای ایمن شوند که برای برداشتن یا جابجایی آن قسمت‌ها نیاز به استفاده از یک وسیله یا ابزار باشد.

۶-۲-۳ سامانه لیزری قابل جداسازی و برداشت

اگر یک سامانه لیزری بتواند از بدنه محافظ یا محفظه خود برداشته شده و بدون تغییرات قادر به کار باشد، سامانه لیزر باید الزامات ساخت بندهای ۶ و ۷ را برای طبقه خاص آن در برداشته باشد.

۶-۳ دریچه‌های دسترسی و قفل‌های همبندی ایمنی

۶-۳-۱یک قفل همبندی ایمنی باید برای دریچه‌های دسترسی بدنه محافظ، هنگامی که هر دو شرط زیر برقرار است ایجاد شود :

الف- در هنگام نگهداری یا حالت کاری، قصد آن باشد که دریچه دسترسی جابجا یا برداشته شود و

ب- برداشتن دریچه، امکان دسترسی به ترازهای تابش لیزر را می‌دهد که با X در جدول ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۱۳ قابلیت کاربردی قفل همبندی ایمنی را با علامت X مشخص می‌کند:

جدول ۱۳- الزامات برای قفل همبندی ایمنی

طبقه محصول	ترازهای تابشی که حین یا پس از برداشتن دریچه دسترسی قابل دسترس خواهند بود، اگر هیچ قفل همبندی وجود نداشته باشد یا برای قفل همبندی غیرفعال			
	۱و 1M	۲ و 2M	3R	3B	۴
۱و 1M و 1C	-	-	X	X	X
۲ و 2M	-	-	X	X	X
3R	-	-	-	X	X
3B	-	-	-	X	X
۴	-	-	-	X	X

برداشتن یا باز کردن دریچه دارای قفل همبندی محصول لیزری طبقه ۱، 1M، 1C، ۲ یا 2Mنباید منجر به گسیل افزون بر *AEL* طبقه 1M یا 2M از مکان باز شده با توجه به طول‌موج قابل کاربرد شود، مگردر شرایطی که قفل همبندی پس از باز شدن دریچه غیرفعال شود. برداشتن یا باز کردن یک دریچه دارای قفل همبندی محصول لیزری طبقه 3R، 3B یا ۴ نباید منجر به گسیل افزون بر *AEL* طبقه 3R از مکان باز شده شود، مگرآنکه قفل همبندی پس از باز شدن دریچه غیرفعال شود. طبقه بالاتری از انرژی/توان لیزر می‌تواند از دریچه باز شده با قفل همبندی غیرفعال گسیل شود.

یادآوری- گسیل بیش از حد *AEL* طبقه محصول در حین کار موجب افزایش طبقه محصول خواهد شد. گسیل بیش از حد *AEL* طبقه محصول در حین نگهداری ممکن است در طبقه‌بندی محصول اثرگذار باشد. (به ۶-۲-۱ رجوع شود.)

هنگامی که یک قفل همبندی ایمنی مورد نیاز باشد، قفل همبندی ایمنی باید از دسترسی به ترازهای گسیل قابل دسترس بیش از حد *AEL*قابل کاربرد در جدول ۱۳، زمانی که دریچه دسترسی برداشته شده است، جلوگیری کند. بازنشانی غیرعمدی قفل همبندی نباید به خودی خود مقادیر گسیل بیشتر از حد *AEL* در جدول ۱۳ را بازگرداند. این قفل‌های همبندی باید با الزامات استاندارد ایمنی محصولات کاربردیIEC مطابقت داشته باشند. (به بند ۱ رجوع شود.)

الزامات زیربند ۵-۱ با توجه به شرایط تک‌اشکال قابل پیش‌بینی منطقی نیز قفل‌های همبندی ایمنی را به‌کار می‌برند.

۶-۳-۲اگر یک مکانیزم تعلیق آگاهانه به‌طور عمدی در دستگاه لیزر ایجاد شده باشد، سازنده باید دستورالعمل‌های لازم را درباره روش‌های ایمن کار ارائه دهد. امکان باقی ماندن سازوکار تعلیق هنگامی که دریچه دسترسی به حالت عادی‌اش باز گردد، نباید فراهم باشد. یک استثنا برای این الزام اجازه می‌دهد که اگر انتخاب یک حالت «تعلیق» به‌طور خودکار باریکه لیزر را مجزا کرده و به‌طور خودکار از شروع به کار مجدد ماشین جلوگیری می‌کند. این استثنا نیز به یک حالت با قابلیت قفل شدن و به یک سیستم تعلیق دستی برای استفاده از باریکه نیاز دارد.

با این حال، مدار قفل همبندی باید تنظیم شود (از طریق اتصالات رله قفل یا فناوری‌های دیگر) طوری‌که حتی در حالت تعلیق، اگر یک در باز بسته می‌شود، مدار به‌طور خودکار به عملکرد طبیعی قفل همبندی بازگردد. (با حذف فرض «ایمن در برابر خطا»در مورد درب و دریچه)

قفل همبندی باید با برچسبی مطابق با زیربند ۷-۱۰-۲ به‌طور واضح مرتبط باشد. استفاده از مکانیزم تعلیق باید به اخطار شنیداری یا دیداری مشخص به هنگام تغذیه لیزری یا تخلیه ناقص منبع خازنی همراه باشد، چه دریچه دسترسی جابجا یا برداشته شده یا نشده باشد. هشدار دیداری باید با استفاده از عینک محافظ که برای طول موج‌های تابش لیزر قابل دسترس طراحی و معین شده‌اند به‌طور واضح قابل رویت باشد.

۶-۴ اتصال‌دهنده قفل همبندی از راه دور

هر سامانه لیزری طبقه 3B و ۴ باید یک اتصال‌دهنده قفل همبندی از راه دور داشته باشد. وقتی که پایانه اتصال‌دهنده مدار باز باشد تابش قابل دسترسی نباید بیش از حد *AEL* مربوط به طبقه 1M یا 2M قابل اجرا باشد. این برای سامانه‌های لیزری طبقه 3B دستی، که با باطری شارژ می‌شوند مورد نیاز نیست.

یادآوری –سازنده‌ها می‌توانند یک اتصال‌دهنده قفل همبندی دومی که نیاز به فعال شدن برای شروع گسیل ندارد را تعبیه کنند اما برای یک محصول که دارای دو اتصال‌دهنده است مورد نیاز نیست.

۶-۵ بازنشانی دستی

هر سامانه لیزر طبقه ۴ باید دارای یک بازنشانی دستی بوده که قادر به از سرگیری گسیل تابش لیزرقابل دسترس طبقه ۴ پس از ایجاد وقفه به دلیل استفاده از اتصال‌دهنده قفل همبندی از راه دور یا ایجاد وقفه‌ی بیش از ۵ ثانیه تغذیه اصلی برق، باشد.

۶-۶ کنترل با کلید:

هر سامانه لیزری طبقه 3B و ۴ باید دارای کنترل اصلی که با کلید کار می‌کند، باشند. کلید باید قابل برداشتن باشد و تابش لیزرنباید هنگام برداشته شدن کلید قابل دسترس باشد.

یادآوری- در این استاندارد کلمه "کلید" شامل هر افزاره‌ی کنترلی از جمله کارت‌های مغناطیسی، ترکیبات رمز و کلمات عبور رایانه‌ای است.

۶-۷ هشدار دهنده گسیل تابش لیزر

۶-۷-۱ هر سامانه لیزری طبقه 3R در گستره طول‌موجی ۴۰۰ nm و بالای ۷۰۰ nm و هر سامانه لیزر طبقه 1C، 3B و ۴ باید موارد ذیل را در برگیرد.

۶-۷-۲یک افزاره‌ی هشداردهنده، هنگامی که سامانه لیزر روشن شده است یا اگر منبع خازنی یک لیزر تپی پر شده یا کاملاً تخلیه نشده است باید نشانک(سیگنال) شنیداری یا دیداری داشته باشد. افزاره‌ی هشداردهنده باید در برابر خرابی یا افزونه ایمن باشد. هر افزاره‌ی هشدار دیداری باید با استفاده از عینک محافظی که برای طول موج‌های تابش لیزرگسیل شده به‌طور مخصوص طراحی شده‌اند به‌طور واضح قابل رویت باشد. افزاره(های) هشداردهنده دیداری باید در جایی که مشاهده آن به پرتوگیری تابش لیزربیش از حد *AEL* طبقه 1M و 2M نیازی نداشته باشد، قرار گیرد.

۶-۷-۳هر سامانه کنترل‌کننده عملکرد و روزنه لیزر که بتوانند در فاصله ۲ متری یا بیشتر از وسیله هشداردهنده تابش از یکدیگر جدا باشند، باید هریک دارای یک افزاره‌ی هشداردهنده باشند. افزاره‌ی هشداردهنده باید برای هر فرد در نزدیکی سامانه کنترل عملکرد یا روزنه لیزر قابل رویت یا شنیدن باشد.

یادآوری – نشانگر گسیل می‌تواند روی یک محصول دستی که در آن روزنه و کنترل‌ها به یکدیگر نزدیک هستند زمانی که به‌طور معمول خاموش، به‌طور لحظه‌ای روشن، یک نشانگر لمسی گسیل را مشخص کند.

۶-۷-۴جایی که گسیل لیزر ممکن است در آن از بیشتر از یک روزنه خروجی پخش شود، یک افزاره‌ی هشداردهنده دیداری باید به‌طور واضح روزنه یا روزنه‌های خروجی را در جاهایی که گسیل ممکن است مطابق زیربند ۶-۷-۲ رخ دهد، مشخص کند.

۶-۷-۵ برای یک افزاره دستی طبقه 3R، یک سوئیچ لحظه ای که به طور مداوم برای اجازه دادن به گسیل تغییر می یابد ممکن است به جای نشانگرگسیل استفاده شود

۶-۸ متوقف‌کننده یا تضعیف‌کننده باریکه

هر سامانه لیزری طبقه 3B و ۴ همواره باید دارای ترکیبی از یک یا چند وسیله تضعیف‌کننده (متوقف‌کننده باریکه، تضعیف‌کننده، سوئیچ زنی) باشد. متوقف‌کننده یا تضعیف‌کننده باید قادر به جلوگیری از دسترسی انسان به تابش لیزر بیش از حد *AEL* طبقه 1M یا 2M باشد.

۶-۹ کنترل ها

هر محصول لیزری باید دارای کنترل‌هایی باشد که به‌گونه‌ای قرار گرفته باشند تا تنظیم و عملکرد آنها نیازی به پرتوگیری تابش لیزرمعادل طبقه 3R و 3B و۴ را نداشته باشد.

۶-۱۰ ابزار اپتیکی مشاهده‌ای

هرگونه ابزار اپتیکی مشاهده‌ای، نمایشگر یا صفحه نمایش، در یک محصول لیزری باید توانایی تضعیف کافی برای جلوگیری از دسترسی انسان به تابش لیزر بیش از حد *AEL* طبقه 1M را داشته باشد، و برای هر بستاور[1] یا

1. Shutter

تضعیف‌کننده متغیری که در ابزار اپتیکی مشاهده ای، نمایشگر یا صفحه نمایش به‌کار گرفته شده‌است باید وسیله‌ای فراهم باشد تا :

الف- هنگامی که بستاور باز شده یا تضعیف‌کننده تغییر کرده است از دسترسی انسان به تابش لیزر بیش از حد *AEL* طبقه 1M جلوگیری کند.

ب- هنگامی که پرتوگیری با تابش لیزربیش از حد *AEL* طبقه 1M ممکن شود از باز شدن بستاور یا تغییر تضعیف‌کننده جلوگیری کند.

۶-۱۱ حفاظت روبشی

محصولات لیزری مورد نظر که تابش روبشی گسیل می‌کنند و بر این اساس طبقه‌بندی شده‌اند، نباید در نتیجه عیب سامانه روبش یا تغییر در سرعت یا دامنه روبش، اجازه دسترسی انسان به تابش لیزر بیش از *AEL* برای طبقه تعیین شده را دهند، مگر اینکه پرتوگیری افراد طی بازه زمانی بین عیب سامانه و زمانی که حفاظ روبشی، گسیل ترازهای زیر *AEL* طبقه محصول لیزری را کاهش می‌دهد، قابل پیش‌بینی منطقی نباشد (به زیربند ۵-۱ رجوع شود).

۶-۱۲ حفاظ برای محصولات طبقه 1C

به غیر از پرتوگیری بافت هدف، یک محصول طبقه 1C نباید اجازه دسترسی انسان به تابش لیزر بیش از *AEL*را دهد برای :

الف- طبقه ۱ تحت شرط ۳ اندازه‌گیری شده و

ب- طبقه 3B از یک روزنه ۳٫۵mm قرار گرفته در فاصله ۵mm از نازل دارای حرکت جانبی اندازه‌گیری شدهدر مدت زمان گسیل برای افت اتصال به‌کار می‌رود. استاندارد IEC 61508 را برای راهنمایی الزامات عملکرد و قابلیت اطمینان حفاظ مشاهده کنید اگرچه ممکن است یک تحلیل کامل نیاز نباشد.

۶-۱۳ دسترسی در راه

اگر یک حفاظ با یک دریچه دسترسی که امکان دسترسی در راه را به وجود می‌آورد تجهیز شده باشد پس :

الف- باید وسیله‌ای تعبیه شده باشد تا هر شخصی در کنار حفاظ بتواند از فعالیت خطر لیزر معادل طبقه 3B و ۴ جلوگیری کند.

ب- یک افزاره‌ی هشداردهنده باید در جایی قرار گرفته باشد تا هشدار مناسبی را برای گسیل تابش لیزر معادل با طبقه 3R در گستره طول موجی زیر ۴۰۰ nm و بالای ۷۰۰ nm یا تابش لیزر معادل طبقه 3B یا ۴ برای هر شخصی که ممکن است در محدوده حفاظ باشد به وجود آورد.

پ- جایی که دسترسی در راه، طی کار در نظر گرفته شده یا قابل پیش‌بینی باشد، گسیل تابش لیزر معادل با طبقه 3B و ۴ در حالی که شخصی در کنار محفظه محصول لیزری طبقه ۱، ۲، یا 3R باشد باید به‌وسیله وسایل مهندسی جلوگیری شده باشد.

یادآوری- روش‌های جلوگیری از دسترسی افراد به تابش هنگامی که افراد درون محفظه حفاظتی قرار داشته باشند ممکن است شامل آشکارسازهای فروسرخ، کفی حساس در برابر فشار باشد.

۶-۱۴ شرایط محیطی

محصول لیزری باید الزامات ایمنی تعیین شده در این استاندارد را تحت تمامی شرایطی که متناسب با استفاده محصول در نظر گرفته شده رعایت کند. عوامل توصیف شده باید شامل موارد زیر باشد:

- شرایط آب و هوایی (به‌طور مثال دما، رطوبت نسبی)
- ارتعاش و شوک

اگر هیچ شرطی در استاندارد ایمنی محصول وجود نداشته باشد باید زیر بند مربوط به استاندارد IEC 61010-1 به‌کار رود.

یادآوری- الزامات مربوط به قابلیت الکترومغناطیسی در دست بررسی هستند.

۶-۱۵ حفاظت در برابر خطرات دیگر

۶-۱۵-۱ خطرات غیر اپتیکی

الزامات استاندارد ایمنی محصول مرتبط باید در حالت کاری و در حالت تک اشکال برای حالات زیر عملی شود:

- خطرات الکتریکی
- دماهای بیش از اندازه
- آتش گرفتن تجهیزات
- صوت و فراصوت
- مواد مضر
- انفجار

اگر هیچ شرطی در استاندارد ایمنی محصول وجود نداشته باشد باید زیر بند مربوط به استاندارد IEC 61010-1 به‌کار رود.

یادآوری –بسیاری از کشورها دارای قوانینی برای کنترل مواد مضر هستند.

۶-۱۵-۲ تابش جانبی

بدنه محافظ محصولات لیزری به‌طور عادی در برابر خطرات تابش جانبی (به‌طور مثال تابش فرابنفش، مرئی، فروسرخ) حفاظت می‌شوند. با این حال اگر این نگرانی وجود داشته باشد که تابش جانبی قابل دسترس ممکن است خطرناک باشد مقادیر *MPE*لیزر می‌تواند برای ارزشیابی پایستار این خطرها به‌کار رود.

۶-۱۶ مدار محدودکننده قدرت

مدار کنترل قدرت برای محدود کردن توان برق به افزاره‌ی گسیل‌کننده لیزر تا حدی که از*AEL* طبقه تعیین شده لیزر حین کار تجاوز نکند به‌کار می‌رود که باید گسیل را تحت شرایط تک‌اشکال قابل پیش‌بینی منطقی از جمله بررسی وابستگی دمایی افزاره محدود کند.

یادآوری- معمولاً برای لیزرهای دیودی نیمه‌رسانا که در آن‌ها یک فراتاخت جریان ممکن استمنجر به تابش بالای *AEL* شود به‌کار می‌رود. پارامترهای کاری معرفی شده برای لیزرهای دیودی (مثل جریان و دما) به‌طور معمول برای اطمینان از مشخصه‌های خوب طیفی زیر حد اشباع هستند. بنابراین یک افزایش گسیل لیزر قابل توجه می‌تواند بین پارامترهای معرفی شده رخ دهد.

۷ برچسب گذاری

۷-۱ کلیات

هر محصول لیزری باید برچسب‌هایی مطابق الزامات بندهای زیر داشته باشد. برچسب‌ها باید بادوام، الصاق شده به‌طور دائمی، خوانا و کاملاً قابل رویت در حالت کار، نگهداری یا تعمیر مطابق اهداف آنها باشند. آنها باید جایی نصب شوند که بدون نیاز به پرتوگیری انسان در برابر تابش لیزر بیش از حد *AEL* مربوط به طبقه ۱ قابل خواندن باشند. حاشیه‌های متن و نمادها باید به رنگ مشکی بر روی زمینه زرد رنگ، غیر از طبقه ۱ که نیاز به استفاده از این ترکیب رنگ نیست، باشند.

جمله‌بندی برچسب‌های نشان داده شده در بند ۷ توصیه شده است، اما الزامی نیست. دیگر جمله‌بندی‌هایی که همان معنی را در بر می‌گیرد(از جمله برچسب‌های هشدار ویرایش قبلی این استاندارد)، می‌توانند جایگزین شوند. اطلاعات و جمله بندی‌های برچسب‌ها باید به زبان فارسی یا انگلیسی باشند. پیوست پ اطلاعات بیشتری در مورد طبقات لیزر، فرض‌ها و محدودیت‌ها ارائه کرده است.

اگر اندازه یا طراحی محصول به‌گونه‌ای باشد که برچسب‌زنی را غیرعملی سازد، برچسب باید در دفترچه اطلاعات کاربر یا روی بسته‌بندی گنجانده شود.

چاپ مستقیم یا حکاکی برچسب‌های معادل روی محصول لیزری یا دریچه‌ها قابل قبول است.

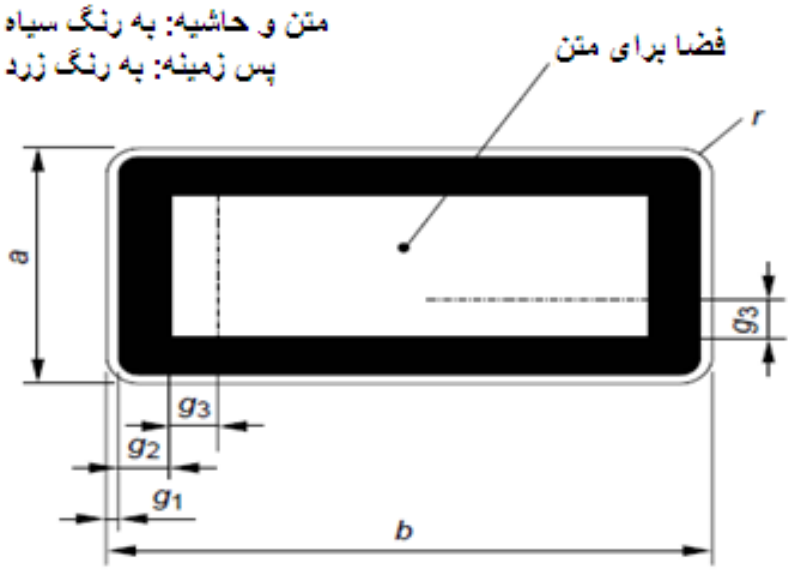
ابعاد بر حسب میلی‌متر

a	g_1	g_2	r	D_1	D_2	D_3	d.
۲۵	۰٫۵	۱٫۵	۱٫۲۵	۱۰٫۵	۷	۳٫۵	۰٫۵
۵۰	۱	۳	۲٫۵	۲۱	۱۴	۷	۱
۱۰۰	۲	۶	۵	۴۲	۲۸	۱۴	۲
۱۵۰	۳	۹	۷٫۵	۶۳	۴۲	۲۱	۳
۲۰۰	۴	۱۲	۱۰	۸۴	۵۶	۲۸	۴
۴۰۰	۸	۲۴	۲۰	۱۶۸	۱۱۲	۵۶	۸
۶۰۰	۱۲	۳۶	۳۰	۲۵۲	۱۶۸	۸۴	۱۲
مقادیر ابعاد d و D_3 , D_2 , D_1 معین شده‌اند.							

یادآوری۱- رابطه بین بیشترین فاصله L از جایی که برچسب مفهوم باشد و کمینه مساحت A برچسب از فرمول $A=L^2/2000$، که A و L به ترتیب با واحدهای متر مربع و متر بیان می‌شوند. این فرمول برای فاصله L کمتر از حدود ۵۰ m به‌کار می‌رود.

یادآوری۲- این ابعاد مقادیر توصیه‌شده هستند. تا زمانی‌که مقادیر متناسب باشند نماد و حاشیه ممکن است در هر اندازه خوانا همان‌طورکه متناسب با اندازه محصول لیزری مورد نیاز است، باشند.

شکل ۳- برچسب هشدار- نماد خطر



ابعاد بر حسب میلی‌متر

کمینه مقدار نشانه‌گذاری	r.	g.3	g.2	g.1	a×b
	۲	۴	۴	۱	۲۶×۵۲
	۳٫۲	۵	۵	۱٫۶	۵۲×۱۰۵
	۴	۷٫۵	۶	۲	۸۴×۱۴۸
نشانه گذاری باید به اندازه ای	۵	۱۲٫۵	۸	۲٫۵	۱۰۰×۲۵۰
صورت گیرد که خوانا باشند	۵	۱۰	۱۰	۲٫۵	۱۴۰×۲۰۰
	۶	۱۲٫۵	۱۰	۲/۵	۱۴۰×۲۵۰
	۶	۲۰	۱۰	۳	۱۴۰×۴۰۰
	۶	۱۲٫۵	۱۲	۳	۲۰۰×۲۵۰
	۶	۲۰	۱۲	۳	۲۰۰×۴۰۰
	۸	۲۵	۱۵	۴	۲۵۰×۴۰۰
ابعاد g_1 معرفی شده است.					

یادآوری۱- رابطه بین بیشترین فاصله L از جایی که برچسب مفهوم باشد و کمینه مساحت Aبرچسب از فرمول $A=L^2/2000$، که A و Lبه ترتیب با واحدهای متر مربع و متر بیان می‌شوند. این فرمول برای فاصله L کمتر از حدود ۵۰ m به‌کار می‌رود.

یادآوری۲- این ابعاد مقادیر توصیه‌شده هستند. برچسب ممکن است در هر اندازه‌ای در برگیرنده حروف‌گذاری و حاشیه مورد نیاز باشد. کمینه ابعاد پهنای هر حاشیه g_2 و g_3 باید ۰٫۰۶ برابر طول کوتاهتر از لبه برچسب باشد.

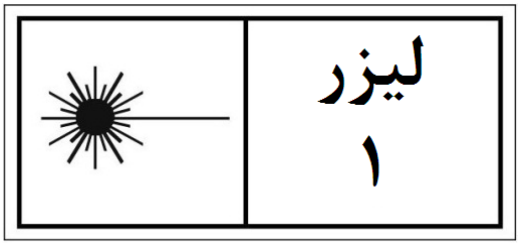
شکل ۴- برچسب توضیحی

۷-۲ طبقه ۱ و طبقه 1M

هر محصول لیزری طبقه ۱ به جز موارد مجاز در بند ۱ باید دارای یک برچسب توضیحی الصاق شده (شکل ۴) در برگیرنده این کلمات باشد.

محصول لیزری طبقه ۱

برچسب جایگزین نشان داده شده در شکل ۵ ممکن است روی محصول چسبانده شود.



شکل ۵- برچسب جایگزین برای طبقه ۱

هر محصول لیزری طبقه 1M باید دارای یک برچسب توضیحی الصاق شده (شکل ۴) در برگیرنده این کلمات باشد:

تابش لیزر

با ابزار اپتیکی بزرگ کننده مستقیماً به آن نگاه نکنید.

محصول لیزری طبقه 1M

برچسب جایگزین نشان داده شده در شکل ۶ ممکن است روی محصول چسبانده شود.

شکل ۶- برچسب جایگزین برای طبقه 1M

به جای برچسب‌های بالا، به صلاحدید سازنده، همان توضیحات ممکن است در دفترچه اطلاعات کاربر گنجانده شده باشد.

۷-۳ طبقه 1C

هر محصول لیزری طبقه 1C باید دارای یک برچسب هشدار (شکل ۳) و یک برچسب توضیحی الصاق شده (شکل ۴) در برگیرنده این کلمات باشد:

تابش لیزر

از دستورالعمل‌ها پیروی کنید

محصول لیزری طبقه 1C

برچسب جایگزین نشان داده شده در شکل ۷ ممکن است روی محصول چسبانده شود.

شکل ۷- برچسب جایگزین برای طبقه 1C

۷-۴ طبقه ۲ و طبقه 2M

هر محصول لیزری طبقه ۲ باید دارای یک برچسب هشدار (شکل ۳) و یک برچسب توضیحی (شکل ۴) الصاق شده و در برگیرنده این کلمات باشد:

تابش لیزر

به باریکه خیره نشوید

محصول لیزری طبقه ۲

برچسب جایگزین نشان داده شده در شکل ۸ ممکن است روی محصول چسبانده شود.

شکل ۸- برچسب جایگزین برای طبقه ۲

هر محصول لیزری طبقه 2M باید دارای یک برچسب هشدار (شکل ۳) و یک برچسب توضیحی (شکل ۴) الصاق شده و در برگیرنده این کلمات باشد:

تابش لیزر

به باریکه خیره نشوید یا با ابزار اپتیکی بزرگ کننده مستقیماً به باریکه نگاه نکنید

محصول لیزری طبقه 2M

برچسب جایگزین نشان داده شده در شکل ۹ ممکن است روی محصول چسبانده شود.

شکل ۹- برچسب جایگزین برای طبقه 2M

یادآوری –بهکاربران با برچسب‌گذاری بالا آموزش داده شده که در مسیر باریکه قرار نگیرند. یعنی انجام عکس‌العمل‌های سریع محافظتی با حرکت دادن سر یا بستن چشم‌ها و ممانعت از مشاهده درون باریکه‌ای عمدی متوالی. اطلاعات جزئی‌تر را در پیوست پ مشاهده کنید.

۵-۷ طبقه 3R

هر محصول لیزری طبقه 3Rباید دارای یک برچسب هشدار (شکل ۳) و یک برچسب توضیحی (شکل ۴) الصاق شده و در برگیرنده این کلمات باشد:

تابش لیزر

از پرتوگیری مستقیم چشم اجتناب کنید

محصول لیزری طبقه 3R

یادآوری- برچسب‌ها با استفاده از عبارت "از پرتوگیری با باریکه اجتناب کنید" در خط دوم نیز مورد پذیرش هستند.

برچسب جایگزین نشان داده شده در شکل ۱۰ ممکن است روی محصول چسبانده شود.

شکل ۱۰- برچسب جایگزین برای طبقه 3R

۷-۶ طبقه 3B

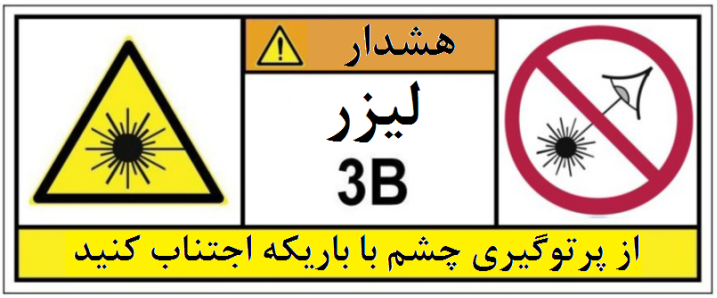
هر محصول لیزری طبقه 3Bباید دارای یک برچسب هشدار (شکل ۳) و یک برچسب توضیحی (شکل ۴) الصاق شده و در برگیرنده این کلمات باشد:

هشدار- تابش لیزر

از پرتوگیری با باریکه اجتناب کنید.

محصول لیزری طبقه 3B

برچسب جایگزین نشان داده شده در شکل ۱۱ ممکن است روی محصول چسبانده شود.



شکل ۱۱- برچسب جایگزین برای طبقه 3B

۷-۷ طبقه ۴

هر محصول لیزری طبقه ۴ باید دارای یک برچسب هشدار (شکل ۳) و یک برچسب توضیحی (شکل ۴) الصاق شده و در برگیرنده این کلمات باشد:

خطر- تابش لیزر

از پرتوگیری چشم یا پوست با تابش مستقیم یا پراکنده اجتناب کنید.

محصول لیزری طبقه ۴

برچسب جایگزین نشان داده شده در شکل ۱۲ ممکن است روی محصول چسبانده شود.

شکل ۱۲- برچسب جایگزین برای طبقه ۴

۷-۸ برچسب روزنه

هر محصول لیزری طبقه 3R، 3Bو ۴ باید دارای برچسبی الصاق شده نزدیک به هر روزنه‌ای که تابش لیزر بیش از حد AELبرای طبقه ۱ یا ۲ گسیل می‌کند، باشد. برچسب‌ها باید در برگیرنده این کلمات باشند:

روزنه لیزر

یا

روزنه برای تابش لیزر

یا

از پرتوگیری اجتناب کنید- تابش لیزر از این روزنه گسیل می‌شود.

برچسب جایگزین نشان داده شده در شکل ۱۳ ممکن است روی محصول چسبانده شود.

شکل ۱۳- برچسب جایگزین برای روزنه لیزر

۷-۹ خروجی تابش و اطلاعات استاندارد

نام و تاریخ انتشار استانداردی که محصول طبق آن طبقه‌بندی شده است باید روی برچسب توضیحی روی برچسب‌های نشان داده شده در زیربندهای ۷-۲ تا ۷-۷ یا هر جایی در نزدیکی آن روی محصول تعبیه شده باشد. برای هر محصول لیزری به‌جز طبقه ۱ باید روی برچسب توضیحی (شکل ۴) یا روی برچسب‌های نشان داده شده در زیربندهای ۷-۲ تا ۷-۷ شرحی از بیشینه خروجی تابش لیزر (به تعریف ۳-۵۸ رجوع شود)، مدت زمان تپ (در صورت لزوم) و طول موج های گسیل شده ذکر شود. برای طبقه ۱ و 1Mبه جای برچسب‌های روی محصول، اطلاعات می‌تواند در دفترچه اطلاعات کاربر گنجانده شود.

اگر اطلاعات در زیربند ۷-۹ با برچسب‌های موضوع زیربندهای ۷-۲ تا ۷-۷ ترکیب شوند، ممکن است درون قاب مستطیلی با طبقه لیزر یا در یک قاب جداگانه زیر طبقه لیزر یا در جمله‌ای توصیفی زیر قاب مربوط به طبقه لیزر برای اندازه مناسبی از برچسب گنجانده شود.

۷-۱۰ برچسب‌هایی برای دریچه دسترسی

۷-۱۰-۱ برچسب‌های دریچه‌ها

هر اتصال، هر دریچه از یک بدنه محافظ و هر دریچه دسترسی یک محفظه حفاظتی که هنگام برداشتن یا جابجایی، اجازه دسترسی انسان به تابش لیزر بیش از حد *AEL*طبقه 1Mرا می‌دهد باید دارای برچسب‌هایی

الصاق شده با این کلمات باشد (برای لیزر جاسازی شده طبقه 1Mاین توضیح ممکن است در دفترچه اطلاعات کاربر گنجانده شود):

الف-

احتیاط- تابش لیزر طبقه 1Mهنگام باز شدن

با تلسکوپ به‌طور مستقیم نگاه نکنید.

اگر تابش قابل دسترسی بیش از حد *AEL*مربوط به طبقه 1Mجایی که تراز تابش طبق زیربندهای ۵-۳- الف و ۵-۴ اندازه‌گیری شده است، نباشد:

ب-

احتیاط- تابش لیزر طبقه ۲ هنگام باز شدن

به باریکه خیره نشوید.

اگر تابش قابل دسترسی بیش از حد *AEL* مربوط به طبقه ۲ جایی که تراز تابش طبق زیربندهای ۵-۳- پ و ۵-۴ اندازه‌گیری شده است، نباشد:

پ-

احتیاط- تابش لیزر طبقه 2Mهنگام باز شدن

به باریکه خیره نشوید یا با تلسکوپ مستقیماً نگاه نکنید.

اگر تابش قابل دسترسی بیش از حد *AEL* مربوط به طبقه 2Mجایی که تراز تابش طبق زیربندهای ۵-۳- پ و ۵-۴ اندازه‌گیری شده است، نباشد:

ت-

احتیاط- تابش لیزر طبقه 3R هنگام باز شدن

از پرتوگیری مستقیم چشم اجتناب کنید.

اگر تابش قابل دسترسی بیش از حد *AEL* مربوط به طبقه 3R نباشد؛

برچسب‌ها با استفاده از عبارت «از پرتوگیری با باریکه اجتناب کنید« در خط دوم نیز مورد پذیرش هستند

ث-

هشدار- تابش لیزر طبقه 3B هنگام باز شدن

از پرتوگیری با باریکه اجتناب کنید.

اگر تابش قابل دسترسی بیش از حد *AEL* مربوط به طبقه 3B نباشد:

ج-

خطر- تابش لیزر طبقه ۴ هنگام باز شدن

از پرتوگیری چشم یا پوست با تابش مستقیم یا پراکنده اجتناب کنید.

اگر تابش قابل دسترس بیش از حدود مربوط به طبقه 3B باشد.
این اطلاعات ممکن است در بیش از یک برچسب بر روی محصول گنجانده شوند.

۷-۱۰-۲ برچسب‌هایی برای دریچه‌های قفل همبندی ایمنی

برچسب‌های مناسب باید به خوبی با هر قفل همبندی ایمنی که ممکن است به آسانی باز شود و پس از آن اجازه دسترسی فرد به تابش لیزر بیش از *AEL* طبقه ۱ را دهد، مرتبط باشند. چنین برچسب‌هایی باید قبل و طی باز شدن قفل همبندی قابل رویت باشند و در نزدیک بازشدگی که با برداشتن بدنه محافظ ایجاد می‌شود، قرار گیرند. این برچسب باید عباراتی که در بند های الف) تا ج) زیربند ۷-۱۰-۱ مشخص شده‌اند را با مقدمه‌ای که به‌صورت یک خط اضافی بعد از خط اول و با کلمات زیر قرار می‌گیرد شامل شود:

و قفل‌های همبندی باز شده است

۷-۱۱ هشدار برای تابش لیزر نامرئی

در بسیاری از موارد، عبارت‌بندی که برای برچسب‌ها در بند ۷ تعیین شده‌اند شامل عبارت «تابش لیزر» هستند. اگر خروجی لیزر خارج از محدوده طول موجی ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm قرار گیرد این باید به‌صورت عبارت «تابش لیزر نامرئی» تغییر کند یا اگر خروجی، طول‌موج‌های درون و بیرون این محدوده طول موجی را در برگیرد، عبارت «تابش لیزر مرئی و نامرئی» به‌کار می‌رود.
اگر یک محصول براساس تراز تابش لیزر مرئی طبقه‌بندی شده و بیش از *AEL* مربوط به طبقه ۱ در طول موج‌های نامرئی گسیل کند، برچسب آن باید به جای «تابش لیزر»، شامل عبارت «تابش لیزر مرئی و نامرئی» باشد.
اگر برچسب‌های جایگزین در شکل‌های ۵ تا ۱۲ استفاده شوند، هشدارهایی برای تابش مرئی و نامرئی باید در یک قاب مستطیلی دیگر زیر یا کنار برچسب گنجانده شود.

۷-۱۲ هشدار برای تابش لیزر مرئی

عبارت «تابش لیزر» برای برچسب‌ها در بند ۷، اگر خروجی محصول لیزری در محدوده مرئی ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm قرار داشته باشد ممکن است با عبارت «نور لیزر» اصلاح شود.

۷-۱۳ هشدار برای خطر بالقوه برای پوست یا بخش‌های قدامی چشم

برای طبقه ۱، 1M، ۲، 2M یا طبقه 3R، اگر گسیلقابل دسترس *AEL*،همان‌طورکه با یک روزنه با قطر mm ۳٫۵ که در نزدیک‌ترین نقطه به دسترس انسان قرارگرفته تعیین‌شده است، از طبقه 3Bتجاوز نماید، یک هشدار اضافی باید روی یک برچسب محصول و در دفترچه اطلاعات کاربر معین شود. (به زیربند ۵-۳- الف برای طبقه ۱ و 1M، زیربند ۵-۳-پ برای طبقه ۲ و 2M و زیربند ۵-۳-ت برای طبقه 3Rرجوع شود.)
هشدار زیر باید روی بدنه محصول و در دفترچه اطلاعات کاربر مشخص باشند. حاشیه‌های متن و نمادها باید مشکی با یک زمینه زرد رنگ از جمله برای طبقه ۱ باشند.

انرژی لیزر- پرتوگیری نزدیک روزنه ممکن است منجر به سوختگی شود.

یادآوری –ریسک آسیب پوست تنها برای باریکه‌هایی با واگرایی بالا در پرتوگیری نزدیک به روزنه محتمل است.

در حالی که قرار دادن برچسب توضیحی برای طبقه ۱ و 1M روی محصول اختیاری است، (به زیربند ۷-۲ رجوع شود) اما هشدار ذکر شده در بالا اختیاری نیست.

۸ سایر الزامات اطلاعاتی

۸-۱ اطلاعات برای مصرف‌کننده

سازندگان محصولات لیزری باید دستورالعمل‌های کاربر یا یک کتاب راهنمای عملکرد که تمامی اطلاعات مربوط به ایمنی را شامل می‌شوند، فراهم آورند. مسئولیت‌پذیری سازندگان برای تهیه اطلاعات ایمنی در زیر مشخص شده و سازنده تصمیم می‌گیرد که اطلاعات اضافی مناسب است و بنابراین باید تهیه شود.

یادآوری ۱- مناسب یا نامناسب بودن اطلاعات به محصول معینی شامل برنامه‌های در نظر گرفته شده‌ی آن وابسته است و حتی ممکن است مشمول قوانین ملی باشد.

اطلاعاتی که در زیر آمده‌اند باید تهیه شوند:

الف- دستورالعمل‌های کافی برای هم‌گذاری مناسب، نگهداری و استفاده ایمن شامل هشدارهای مشخص مرتبط با احتیاطات به‌منظور اجتناب از پرتوگیری ممکن تابش خطرناک لیزر و توصیف محدودیت‌های طبقه‌بندی می باشد، در صورت لزوم، برای توصیف طبقه‌ها و محدودیت‌های ممکن به پیوست پ رجوعشود.

ب- هشدار اضافی برای محصولات لیزری طبقه 1M و 2M. این هشدار باید جایی قرار گیرد که دیدن خروجی لیزر با ابزار اپتیکی بزرگ‌کننده‌ی معین (برای مثال: تلسکوپ‌ها، دوربین‌های دوچشمی) ممکن است خطر برای چشم را به همراه داشته باشد، بنابراین کاربر نباید در مسیر باریکه درون یک ناحیه که در آن چنین ابزاری استفاده می‌شوند قرار گیرد.

پ- برای ترازهای تابش لیزر بیش از حد *AEL* طبقه ۱، توصیفی از هر نقش تابش گسیل شده از بدنه محافظ طی روند عملکرد و نگهداری. در موارد کاربردی، این باید شامل توضیحی برای واحدهای مناسب زیر باشد:

- طول‌موج
- واگرایی باریکه
- مدت زمان تپ و نرخ تکرار (یا توصیف طرح تپ نامنظم)
- بیشینه توان یا خروجی انرژی

مقادیر در موارد مناسب باید شامل عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری انباشته شده و هرگونه افزایش قابل انتظار در کمیت‌های اندازه‌گیری شده در هر زمان بعد از ساخت باشد. مدت زمان تپ‌ها ناشی از قفل‌شدگی مد غیرعمدی نیازی به مشخص شدن ندارند، در حالی که شرایط آن‌ها در ارتباط با محصول شناخته شده منجر به قفل‌شدگی مد غیرعمدی باید مشخص شود. برای تپ‌های فوق‌کوتاه پهنای باند تابش (یعنی گستره طول موج گسیل) باید مشخص شود.

ت- برای محصولات لیزری جاسازی شده و دیگر محصولات لیزری ترکیبی، اطلاعات لیزر ترکیبی را توصیف می‌کنند. (قسمت پ) را ببینید) اطلاعات باید شامل دستورالعمل‌های ایمنی مناسب برای کاربر به‌منظور اجتناب از پرتوگیری غیرعمدی در برابر تابش لیزر خطرناک باشند. این به‌طور خاص برای محصولات لیزری جاسازی شده‌ای است که به‌عنوان طبقه ۱، ۲،1M یا 2M طبقه‌بندی شده‌اند اما جایی که مشاهده درون باریکه‌ای ترازهای گسیل قابل دسترس بیش از حد *AEL* این طبقه‌بندی‌ها هستند در حین نگهداری ممکن می‌شود. در این موارد سازنده باید هشداری را قرار دهد با این عنوان که باید از مشاهده درون باریکه لیزر جلوگیری شود.

ث- در موارد مناسب و مشخص، مقادیر *MPE* و *NOHD* برای محصولات لیزری طبقه 3B و ۴. چون مقدار *NOHD* به شدت به سامانه انتقال باریکه و قطعات اپتیکی در مسیر باریکه بستگی دارد، هنگامی که این به وضوح توصیف شده است، توصیه شده است که مقادیر *NOHD* برای اتصالات متفاوت یا سامانه انتقال باریکه تعیین شوند. اگر واگرایی باریکه متغیر وجود داشته باشد، *NOHD* می‌تواند برای برخی مقادیر انتخاب شده واگرایی تعیین شود. هنگامی که مقدار *MPE* و *NOHD* داده شده است، مدت زمان پرتوگیری فرض‌شده برای تعیین این مقادیر نیز باید داده شود. در موارد مناسب و مشخص، برای باریکه موازی‌شده لیزرهای طبقه 1M و 2M، فاصله اسمی خطر دید گسترده (*ENOHD*)[1] باید تعیین شود.

یادآوری ۲-اطلاعات خاص روی *NOHD* به‌طور معمول برای باریکه‌های موازی‌شده که داخلی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، مورد نیاز نیستند. در این مورد، به‌طور معمول، تنها نشانه‌ای از گستردگی گستره در جایی که *MPE* می‌تواند افزایش یابد کافی است.

ج- در موارد مناسب، اطلاعات لازم برای انتخاب نحوه حفاظت از چشم باید شامل چگالی نوری مورد نیاز مانند چگالی شار تابشی یا ترازهای پرتوگیری تابشی باشند که ممکن است روی سطح تجهیزات محافظتی چشم فرود آیند، به‌طوری که ترازهای مقاوم بتوانند تعیین شوند.

1-Extended Nominal Ocular Hazard Distance

یادآوری ۳- بیشتر کشورها دارای قوانین و استانداردهایی برای تجهیزات محافظتی فردی هستند.

چ- کپی‌های خوانایی (سیاه و سفید یا در رنگ‌های مناسب که در بند ۷ آمده است) از تمامی برچسب‌ها و هشدارهای خطر مورد نیاز روی محصول لیزری الصاق شده یا با محصول لیزری ارائه می‌شوند. مکان مربوط به هر برچسب الصاق‌شده روی محصول باید مشخص شده باشد یا اگر با محصول ارائه شده است، توضیح اینکه چنین برچسب‌هایی نمی‌تواند روی محصول الصاق شود اما با محصول عرضه شده و توضیحی از حالت و عملکردی که با آنها عرضه شده باید ارائه شود. اگر برچسب‌های نهایی موضوع بندهای ۷-۲ تا ۷-۸ روی محصول استفاده شوند، عبارات مرتبط آنها باید در دفترچه راهنمای کاربر علاوه بر کپی تصویر برچسب گنجانده شده باشد.

ح- در کتاب راهنما تمامی روزنه‌های لیزری که تابش لیزر بیش از *AEL* طبقه ۱ از آن ها گسیل شده‌اند باید به وضوح مشخص شوند.

خ- لیستی از کنترل‌ها، تنظیمات و روش‌های اجرایی برای حالت کاری و نگهداری شامل هشدار " احتیاط - استفاده از کنترل‌ها یا تنظیمات یا اجرای روش‌هایی به‌جز آن‌هایی که به‌طور خاص در اینجا ذکر شده است موجب پرتوگیری تابش خطرناک می‌شود." (یا به طور متناوب، به کارگیری هشدارهای مناسب معادل)

د- در مورد محصولات لیزری که منبع انرژی مورد نیاز تابش لیزر را همراه با خود ندارند، برای گسیل لیزر، توضیحی از الزامات سازگار برای منبع انرژی لیزر جهت اطمینان از ایمنی لازم است.

ذ- برای طبقه ۱، 1M، ۲، 2M یا طبقه 3R،ممکن است هشدار اضافی مورد نیاز باشد. (به زیربندهای ۵-۳- الف، ۵-۳-پ و ۵-۳-ت رجوع شود.) هشدار اضافی باید اطمینان از اینکه برای مثال کاربران به دور از ریسکسوختگی پوست و قرنیه هستند را فراهم سازد.

ر- استانداردهای دیگر الزامات کاربردی را با توجه به اطلاعات کاربر برای محصولات طبقه 1C تعیین می‌کنند. مثال‌هایی از اطلاعات مرتبط برای استفاده به قرار زیر هستند.

- هشدار باید این مطلب را بیان کند که اگر مطابق دستورالعمل کاربر مورد استفاده قرار نگیرد، خروجی لیزر از این افزاره ممکن است خطرناک باشد.
- کاربران باید از به‌کارگیری افزاره روی نواحی پوستی که ایمن نیستند مانند پلک‌های چشم آگاه شده باشند.
- کاربران همچنین باید نسبت به تناوب کاربرد هنگامی که کارهای تکرار شده ممکن است خطری را ایجاد کنند، آگاه باشند.

۸-۲ اطلاعات خرید و خدمات پس از فروش

تولیدکنندگان محصولات لیزری باید مواردی را تهیه و به شرح ذیل ارائه کنند:

الف- در تمامی کاتالوگ‌ها، برگه‌های مشخصات و بروشورهای توصیفی، طبقه‌بندی هر محصول لیزری و هر هشدار شامل آن‌هایی که در زیربندهای ۸-۱- ب) و ۸-۱- ذ) تعیین شده‌اند، در صورت لزوم باید بیان شوند.

ب- سرویس‌دهی به فروشندگان و توزیع‌کنندگان، و به دیگران در صورت درخواست، دستورالعمل‌های مناسب برای تنظیمات، تعمیر و روش‌های تعمیر برای هر مدل محصول لیزری که شامل موارد ذیل است:

- هشدارهای خوانا و احتیاط‌های لازم برای اجتناب از پرتوگیری احتمالی تابش لیزر بیش از طبقه ۱ و خطرات دیگر
- برنامه مراقبت لازم برای نگهداری دستگاه در شرایط قابل قبول
- لیستی از کنترل‌ها و دستورالعمل‌هایی که می‌تواند توسط افرادی به غیر از سازنده یا نماینده آن برای افزایش ترازهای گسیل قابل دسترس تابش استفاده شود
- توضیحی مشخص از محل قطعات قابل جابجایی بدنه محافظ که دسترسی به تابش لیزر بیش از حدود قابل دسترس در جداول ۳ تا ۸ را اجازه دهد.
- روش‌های محافظتی برای تعمیرکارها و
- کپی‌های خوانایی (به‌طور انتخابی رنگی) از برچسب‌ها و هشدارهای خطر مورد نیاز.

۹ الزامات دیگر برای محصولات لیزری خاص

۹-۱ قسمت‌های دیگر مجموعه استاندارد IEC 60825

برای کاربردهای خاص یک یا چند سری از استاندارد IEC 60825 ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. (به کتاب‌نامه رجوع شود.)

- IEC 60825-2، ایمنی سامانه‌های مخابرات تار نوری (یادآوری‌های کاربردی و مثال‌ها را ارائه می‌دهد.)
- IEC 60825-4، حفاظ‌های لیزر (اطلاعات طراحی و ساختاری را برای حفاظ‌های لیزر و مواد به ویژه جایی که لیزرهای توان بالا استفاده می‌شوند ارائه می‌دهد.)
- IEC 60825-12، ایمنی سامانه‌های مخابرات نوری فضای آزاد مورد استفاده برای انتقال اطلاعات

اطلاعات بیشتر را می‌توانید در مجموعه استانداردهای زیر پیدا کنید:

- IEC/TR 60825-3،راهنمای نشانگرها و نمایش‌های لیزری
- IEC/TR 60825-5، چک لیست سازنده‌ها برای IEC 60825-1 (مناسب برای استفاده در گزارش ایمنی)
- IEC/TR 60825-8،راهنمایی‌هایی برای استفاده ایمن از باریکه لیزر برای انسان
- IEC/TR 60825-9،تلفیقی از بیشینه پرتوگیری مجاز تابش اپتیکی غیرهمدوس (چشمه‌های گسترده)
- IEC/TR 60825-13،اندازه‌گیری‌ها برای طبقه‌بندی محصولات لیزری
- IEC/TR 60825-14، راهنمای کاربر
- IEC/TR 62471 (CIE S 009)، ایمنی فوتوبیولوژیکی لامپ‌ها و سامانه‌های لامپی

۹-۲ محصولات لیزر پزشکی

هر محصول لیزر پزشکی باید با تمام الزامات کاربردی برای محصولات لیزری طبقه خود مطابقت داشته باشد. علاوه بر این، هر محصول لیزرپزشکی و زیبایی[1] طبقه 3B یا طبقه ۴ ممکن است دردامنه کاربرد استاندارد ملی ایران آی ایی سی ۲۲-۲-۶۰۶۰۱ باشد.

۹-۳ ماشین‌های پردازش لیزری

ماشین‌های پردازش لیزری باید با الزامات کاربردی برای محصولات لیزری طبقه خود مطابقت داشته باشد. علاوه بر این، ماشین‌های پردازش لیزری ممکن است دردامنه کاربرد استاندارد ISO/IEC 11553-1باشند.

۹-۴ اسباب‌بازی‌های الکتریکی

اسباب‌بازی‌های الکتریکی که محصولات لیزری هستند باید با الزامات کاربردی برای محصولات لیزری طبقه خود مطابقت داشته باشد. علاوه‌براین، این محصولات دردامنه کاربرد استاندارد ملی ۸۲۶۷ قرار دارند.

۹-۵ محصولات الکترونیکی مصرفی

محصولات الکترونیکی مصرفی که محصولات لیزری هستند باید با الزامات کاربردی برای محصولات لیزری طبقه خود مطابقت داشته باشد. علاوه‌براین، این محصولات ممکن است دردامنه کاربرد یکی از استانداردهای زیر استاندارد ملی ۱-۵۲۳۳ (تجهیزات IT) ، استاندارد ملی ۴۵۸۲(تجهیزات AV) باشند.

1- Cosmetics

پیوست الف

(اطلاعاتی)
مقادیر بیشینه پرتوگیری مجاز

الف-۱ کلیات

حدود گسیل قابل دسترس *AEL*ها به‌طور معمول از بیشینه پرتوگیری‌های مجاز *MPE*ها مشتق شده‌اند. مقادیر *MPE*های ارائهشده در این پیوست می‌تواند به ارائه اطلاعات اضافی توسط سازندگان در ارزشیابی جنبه‌های ایمنی مربوط به استفاده‌ی در نظر گرفته شده برای محصولاتشان کمک کند. (مانند تعیین *NOHD*)

یادآوری-محاسبات ساده شده ممکن است به‌طور قابل توجهی *NOHD*را ناچیز در نظر گیرد. به‌عنوان مثال، هنگامی که روزنه لیزر درون ناحیهگسترده رایلی است، زمانی که کمر باریکه خارجی وجود دارد، یا زمانی که نیم‌رخ باریکه به گونه‌ای است که توانی که از یک روزنه عبور می‌کند، هنگامی که نیم‌رخ باریکه گاوسی فرض شده است ناچیز است. در چنین مواردی معمولا تعیین *NOHD*با اندازه‌گیری‌ها مفید است.

مقادیر پرتوگیری مجاز همان‌طورکه در این استاندارد موجود است، از مقادیر حد پرتوگیری که به‌وسیله کمیته بین‌المللی حفاظت در برابر تابش غیر یونیزه منتشر شده، اتخاذ شده است. مقادیر *MPE*که در زیر ترازهای شناخته‌شده خطر در نظر گرفته می‌شوند، براساس بهترین اطلاعات موجود از مطالعات آزمایشگاهی هستند. مقادیر *MPE*باید به‌عنوان راهنما در کنترل پرتوگیری‌ها استفاده شده و نباید به‌عنوان خطوط تقسیم‌شده دقیق مابین ترازهای ایمن و خطرناک در نظر گرفته شود. در هر مورد، پرتوگیری تابش لیزر باید تا حد ممکن کم باشد.

*MPE*هایی که در این پیوست اطلاعاتی مشخص شده‌اند، نباید به‌عنوان حدود قانونی و لازم‌الاجرا برای پرتوگیری کارکنان در محیط کار یا مردم عادی تفسیر شوند. حدود پرتوگیری که برای چشم و پوست کارکنان در محیط کار و مردم عادی وجود دارند،در بسیاری از کشورها در قوانین ملی مشخص شده‌اند. این حدود پرتوگیری ممکن است با *MPE*های معین در این پیوست متفاوت باشند.

پرتوگیری‌ها از چندین طول موج باید به‌عنوان اثری اضافی روی تناسب اثر طیفی مطابق با مقادیر *MPE*های جداول الف-۱، الف-۲، الف-۳، الف-۴ و الف-۵ فرض شوند که در آن‌ها محدوده‌های طیفی به‌عنوان افزودنی با نمادهای «o» برای پرتوگیری چشمی و«s» برای پرتوگیری پوست در قالب جدول ۱ نشان داده شده‌اند. جایی که طولموج‌های تابشی به‌عنوان افزودنی نشان داده نشده‌اند، خطرات باید جداگانه ارزیابی شوند.

جدول الف-۱-بیشینه پرتوگیری مجاز (MPE) برای C_6=۱در قرنیه بیان شده به عنوان چگالی انرژی یا چگالی شار انرژی[a,b]

طول موج λ(nm)	مدت زمان گسیل ts								
	10^{-13}تا10^{-11}	10^{-11}تا10^{-9}	10^{-9}تا10^{-7}	10^{-7}تا10^{-6} × ۵	10^{-6}×۵تا10^{-6} × ۱۳	10^{-6} ×۱۳تا10^{-3} × ۱	10^{-3} ×۱۰تا۱	۱۰تا10^{2}	10^{2}تا10^{4} × ۳
۱۸۰تا ۳۰۲/۵	3×10^{10} W·m^{-2}		۳۰ J·m^{-2}						
۳۰۲/۵ تا ۳۱۵			خطر فوتوشیمیایی ($t>T_1$) C_2 J·m^{-2}[d]					C_2 J·m^{-2}	
			خطر گرمایی[d] ($t \le T_1$) C_1 J·m^{-2}						
۳۱۵ تا ۴۰۰			C_1 J·m^{-2}					10^4 J m^{-2}	
۴۰۰ تا ۴۵۰	1×10^{-3} J·m^{-2}		$2 \times 10^{-3} t^{0.75}$ J·m^{-2}			$18t^{0.75}$ J·m^{-2}		۱۰۰ J·m^{-2}	C_3 W·m^{-2}
۴۵۰ تا ۵۰۰								۱۰۰C_3 J·m^{-2} و ۱۰[c] W·m^{-2}	
۵۰۰ تا ۷۰۰								۱۰ W·m^{-2}	
۷۰۰ تا ۱۰۵۰	$1/ \times 10^{-3}$ J·m^{-2}		$2 \times 10^{-3} t^{0.75} C_4$ J·m^{-2}			$18t^{0.75} C_4$ J·m^{-2}		$10 C_4 C_7$ W·m^{-2}	
۱۰۵۰ تا ۱۴۰۰[e]	$1 \times 10^{-3} C_7$ J·m^{-2}		$2 \times 10^{-2} t^{0.75} C_7$ J·m^{-2}			$90t^{0.75} C_7$ J·m^{-2}			
۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰		10^{12} W·m^{-2}		10^3 J·m^{-2}		$5600t^{0.25}$ J·m^{-2}		۱۰۰۰ W·m^{-2}	
۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰		10^{13} W·m^{-2}		10^4 J·m^{-2}					
۱۸۰۰ تا ۲۶۰۰		10^{12} W·m^{-2}		10^3 J·m^{-2}		$5600t^{0.25}$ J·m^{-2}			
۲۶۰۰ تا ۴۰۰۰		10^{11} W·m^{-2}	۱۰۰ J·m^{-2}			$5600t^{0.25}$ J·m^{-2}			

[a] برای ضرایب تصحیح و واحدها، به جدول ۹مراجعه کنید.

[b] مقادیر *MPE* برای مدت زمان‌های پرتوگیری کمتر از 10^{-9}s برای طول موج‌های کمتر از ۴۰۰ nm و بزرگتر از ۱۴۰۰ nm با محاسبه معادل چگالی شار تابشی از حدود چگالی انرژی در 10^{-9}s به‌دست می‌آیند. مقادیر *MPE* برای مدت زمان‌های گسیل کمتر از 10^{-13}s برابر با مقادیر چگالی شار تابشی معادل *MPE* در 10^{-13}s درنظر گرفته می‌شود.

[c] در گستره طول موجی بین ۴۵۰ nm و ۵۰۰ nm، حدود دوگانه‌ای به‌کار می‌روند و گسیل یک محصول نباید از هر یک از دو حدقابل کاربرد برای طبقه اختصاص داده شده تجاوز نماید.

[d] برای لیزرهای تپی *UV* تکرارپذیر هیچ حدی نباید تجاوز نماید

[e] در گستره طول‌موج بین ۱۲۵۰ nm و ۱۴۰۰nm حدودی برای حفاظت از شبکیه در این جدول تعیین شده که ممکن است برای حفاظت از بخش‌های قدامی چشم (قرنیه، عنبیه) مناسب نباشد و احتیاط لازم باید صورت گیرد. اگر پرتوگیری از مقادیر *MPE* پوست تجاوز نکندهیچ نگرانی برای بخش‌های قدامی چشم وجود ندارد.

جدول الف-۲-بیشینه پرتوگیری مجاز (*MPE*) در قرنیه برای چشمه‌های گسترده در گستره طول‌موجی از ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm (ناحیه خطر شبکیه) بیان شده به عنوان چگالی انرژی یا چگالی شار انرژی[d]

طول موج λ (nm)	زمان پرتوگیری t(s)						
	$۱۰^{-۱۳}$ تا $۱۰^{-۱۱}$	$۱۰^{-۱۱}$ تا ۵×۱۰^{-۶}	۵×۱۰^{-۶} تا $۱٫۳ \times ۱۰^{-۵}$	$۱٫۳ \times ۱۰^{-۵}$ تا ۱۰	۱۰ تا $۱۰^{۲}$	$۱۰^{۲}$ تا $۱۰^{۴}$	$۱۰^{۴}$ تا ۳×۱۰^{۴}
۴۰۰ تا ۷۰۰	$۱ \times ۱۰^{-۳} C_{۶}$ J.m$^{-۲}$	$۲ \times ۱۰^{-۳} C_{۴}$J.m$^{-۲}$	$۱۸t^{۰٫۷۵} C_{۴}$J.m$^{-۲}$	۴۰۰ nm تا ۶۰۰ nm- خطر فوتوشیمیایی شبکیه‌ای[a] ۱۰۰ $C_{۳}$J.m$^{-۲}$ با استفاده از γ_{ph}= ۱۱ mrad و[b] ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm- خطر گرمایی شبکیه‌ای $۱۸C_{۶}T_{۲}^{-۰٫۲۵}$W.m$^{-۲}$ ($t>T_{۲}$) $۱۸t^{۰٫۷۵}C_{۶}$J.m$^{-۲}$ ($t\leq T_{۲}$)	۱ $C_{۳}$W.m$^{-۲}$ با استفاده از γ_{ph}= ۱/۱ $t^{۰٫۵}$mrad	۱ $C_{۳}$W.m$^{-۲}$ با استفاده از γ_{ph}= ۱۱۰ mrad
۷۰۰ تا ۱۰۵۰	$۱ \times ۱۰^{-۳} C_{۶}$ J.m$^{-۲}$	$۲ \times ۱۰^{-۳} C_{۴}C_{۶}$J.m$^{-۲}$	$۱۸t^{۰٫۷۵} C_{۴}C_{۶}$J.m$^{-۲}$	$۱۸C_{۴}C_{۶}T_{۲}^{-۰٫۲۵}$W.m$^{-۲}$ ($t>T_{۲}$) $۱۸t^{۰٫۷۵}C_{۴}C_{۶}$J.m$^{-۲}$ ($t\leq T_{۲}$)			
[c]۱۰۵۰ تا ۱۴۰۰	$۱ \times ۱۰^{-۳} C_{۶}C_{۷}$ J.m$^{-۲}$	$۲ \times ۱۰^{-۲} C_{۶}C_{۷}$J.m$^{-۲}$	۹۰ $t^{۰٫۷۵} C_{۶}C_{۷}$J.m$^{-۲}$	$۹۰C_{۶}C_{۷}T_{۲}^{-۰٫۲۵}$W.m$^{-۲}$ ($t>T_{۲}$) $۹۰t^{۰٫۷۵}C_{۶}C_{۷}$J.m$^{-۲}$ ($t\leq T_{۲}$)			

یادآوری - حدود پرتوگیری برای اغلب بافت‌های چشمی ممکن است برای ابزارهای چشم پزشکی متفاوت باشند. استاندارد ISO 15004-2 را مشاهده کنید.

[a] زاویه γ_{ph}، زاویه اندازه‌گیری محدود پذیرش است. [b] در گستره طول موجی بین ۴۰۰ nm و ۶۰۰ nm، حدود دوگانه‌ای به‌کار می‌روند و پرتوگیری نباید از هر یک از دو حد قابل کاربردتجاوز نماید. معمولاً حدود خطر فوتوشیمیاییفقط برای مدت زمان‌های پرتوگیری بیشتر از ۱۰ s به‌کار می‌رود؛ با این حال، برای طول موج‌های بین۴۰۰ nm تا ۴۸۴ nm و برای اندازه‌های چشمه ظاهری بین ۱٫۵ mrad و ۸۲ mrad حددوگانه خطر فوتوشیمیایی ۱۰۰ $C_{۳}$J.m$^{-۲}$ باید برای پرتوگیری‌های بزرگتر یا مساوی با ۱ s به‌کار گرفته شوند. [c] در گستره طول‌موج بین ۱۲۵۰ nm و ۱۴۰۰ nm، حدودی برای حفاظت از شبکیه در این جدول تعیین شده که ممکن است برای حفاظت از بخش‌های قدامی چشم (قرنیه، عنبیه) مناسب نباشد و احتیاط لازم باید صورت گیرد. اگر پرتوگیری از مقادیر *MPE* پوست تجاوز نکند هیچ نگرانی برای بخش‌های قدامی چشم وجود ندارد.

[d] برای مدت زمان پرتوگیری کمتر از ۰٫۲۵ ثانیه، حدودی برای حفاظت از شبکیه در این جدول تعیین شده که ممکن است برای حفاظت از بخش‌های قدامی چشم (قرنیه، عنبیه) مناسب نباشد و احتیاط لازم باید صورت گیرد. اگر پرتوگیری از مقادیر *MPE* پوست تجاوز نکند هیچ نگرانی برای بخش‌های قدامی چشم وجود ندارد.

جدول الف-۳- بیشینه پرتوگیری مجاز (*MPE*) از جدول الف-۱ (C_6 = ۱)برای گستره طول‌موجی ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm بیان شده به‌عنوان توان یا انرژی [a,b]

طول موج λ nm	مدت زمان گسیل t s				
	$۱۰^{-۱۳}$ تا $۱۰^{-۱۱}$	$۱۰^{-۱۱}$ تا ۵×۱۰^{-۶}	۵×۱۰^{-۶} تا ۱۳×۱۰^{-۶}	۱۳×۱۰^{-۶} تا ۱۰	۱۰ تا $۱۰^{۲}$	$۱۰^{۲}$ تا ۳×۱۰^{۴}
۴۰۰ تا ۴۵۰	$۳٫۸\times۱۰^{-۸}$ J	$۷٫۷\times۱۰^{-۸}$J	$۷\times۱۰^{-۴}t^{۰/۷۵}$J		$۳٫۹\times۱۰^{-۳}$ J	$۳٫۹\times۱۰^{-۵}C_۳$ W
۴۵۰ تا ۵۰۰					$۳٫۹\times۱۰^{-۳}C_۳$ J $c_و$ $۳٫۹\times۱۰^{-۴}$ W	
۵۰۰ تا ۷۰۰					$۳٫۹\times۱۰^{-۴}$ W	
۷۰۰ تا ۱۰۵۰	$۳٫۸\times۱۰^{-۸}$ J	$۷٫۷\times۱۰^{-۸}C_۴$J	$۷\times۱۰^{-۴}t^{۰/۷۵}C_۴$J		$۳٫۹\times۱۰^{-۴}C_۴\ C_۷$W	
۱۰۵۰[d] تا ۱۴۰۰	$۳٫۸\times۱۰^{-۸}C_۷$ J	$۷٫۷\times۱۰^{-۷}C_۷$ J	$۳٫۵\times۱۰^{-۳}t^{۰/۷۵}C_۷$ J			

یادآوری – تراز پرتوگیری در مقایسه با *MPE*بیان شده به‌عنوان انرژی یا توان، به‌عنوان توان یا انرژی که از یک روزنه با قطر ۷ mm عبور می‌کند تعیین می‌شود. (مقادیر *MPE*بیان شده در این جدول از جدول الف-۱ با ضرب در سطح مقطع روزنه ای با قطر ۷ mm به‌دست آمده‌اند.)

[a] برای ضرایب تصحیح و واحدها، به جدول ۹مراجعه کنید.

[b] مقادیر *MPE*برای مدت زمان‌های گسیل کمتر از $۱۰^{-۱۳}$s برابر با مقادیر چگالی شار تابشی معادل*MPE*در $۱۰^{-۱۳}$s درنظر گرفته می‌شود.

[c] در گستره طول‌موج بین ۴۵۰ nm و ۵۰۰ nm، حدود دوگانه‌ای به‌کار می‌روند و پرتوگیری نباید از هر یک از دو حد قابل کاربردتجاوز نماید.

[d] برای مدت زمان پرتوگیری کمتر از ۰٫۲۵ ثانیه، حدودی برای حفاظت از شبکیه در این جدول تعیین شده که ممکن است برای حفاظت از بخش‌های قدامی چشم (قرنیه، عنبیه) مناسب نباشد و احتیاط لازم باید صورت گیرد. اگر پرتوگیری از مقادیر *MPE*پوست تاوز نکند هیچ نگرانی برای بخش‌های قدامی چشم وجود ندارد.

جدول الف-۴-بیشینه پرتوگیری مجاز (MPE) از جدول الف-۲ (چشمه‌های گسترده) برای گستره طول‌موج۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm بیان شده به‌عنوان توان یا انرژی [a,b,c,d,e,f,g]

طول موج λ nm	مدت زمان گسیل t s					
	$۱۰^{-۱۳}$ تا $۱۰^{-۱۱}$	$۱۰^{-۱۱}$ تا ۵×۱۰^{-۶}	۵×۱۰^{-۶} تا ۱۳×۱۰^{-۶}	۱۳×۱۰^{-۶} تا ۱۰	۱۰ تا $۱۰^{۲}$	$۱۰^{۲}$ تا ۳×۱۰^{۴}
۴۰۰ تا ۷۰۰	$۳٫۸ \times ۱۰^{-۸} C_۶$ J	$۷٫۷ \times ۱۰^{-۸} C_۶$ J	$۷ \times ۱۰^{-۴} t^{۰/۷۵} C_۶$ J		$۳٫۹ \times ۱۰^{-۳} C_۳$ J با استفاده از γ_{ph}= ۱۱ mrad	$۳٫۹ \times ۱۰^{-۵} C_۳$ W با استفاده از γ_{ph}= ۱۱۰ mrad
۷۰۰ تا ۱۰۵۰	$۳٫۸ \times ۱۰^{-۸} C_۶$ J	$۷٫۷ \times ۱۰^{-۸} C_۴ C_۶$ J	$۷ \times ۱۰^{-۴} t^{۰/۷۵} C_۴ C_۶$ J		$۷ \times ۱۰^{-۴} C_۴ C_۶ T_۲^{-۰/۲۵}$ W $(t > T_۲)$ $۷ \times ۱۰^{-۴} t^{۰/۷۵} C_۴ C_۶$ J·m $(t \le T_۲)$	
۱۰۵۰[f] تا ۱۴۰۰	$۳٫۸ \times ۱۰^{-۸} C_۶ C_۷$ J	$۷٫۷ \times ۱۰^{-۷} C_۶ C_۷$ J		$۳٫۵ \times ۱۰^{-۳} t^{۰/۷۵} C_۶ C_۷$ J	$۳٫۵ \times ۱۰^{-۳} C_۶ C_۷ T_۲^{-۰/۲۵}$ W $(t > T_۲)$ $۳٫۵ \times ۱۰^{-۳} t^{۰/۷۵} C_۶ C_۷$ J $(t \le T_۲)$	

۴۰۰ nm تا ۶۰۰ nm- خطر فوتوشیمیایی شبکیه‌ای[d,e]		
$۳٫۹ \times ۱۰^{-۳} C_۳$ J با استفاده از γ_{ph}= ۱۱ mrad	$۳٫۹ \times ۱۰^{-۵} C_۳$ W با استفاده از γ_{ph}= $۱٫۱ t^{۰/۵}$mrad	$۳٫۹ \times ۱۰^{-۵} C_۳$ W با استفاده از γ_{ph}= ۱۱۰ mrad
و[c]		
۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm- خطر گرمایی شبکیه‌ای		
$۷ \times ۱۰^{-۴} C_۶ T_۲^{-۰/۲۵}$ W $(t > T_۲)$ $۷ \times ۱۰^{-۱} t^{۰/۷۵} C_۶$ J $(t \le T_۲)$		

جدول الف-۴- ادامه

یادآوری ۱- حدود پرتوگیری برای اغلب بافت‌های چشمی ممکن است برای ابزارهای چشم پزشکی متفاوت باشند. استاندارد ISO 15004-2 را مشاهده کنید.

یادآوری ۲- تراز پرتوگیری در مقایسه با MPE بیان شده به‌عنوان انرژی یا توان، به‌عنوان توان یا انرژی که از یک روزنه با قطر ۷ mm عبور می‌کند تعیین می‌شود. (مقادیر MPE بیان شده در این جدول از جدول الف-۱ با ضرب در سطح مقطع روزنه ای با قطر ۷ mm به‌دست آمده‌اند.)

[a] برای ضرایب تصحیح و واحدها، به جدول ۹ مراجعه کنید.

[b] مقادیر MPE برای مدت زمان‌های گسیلکمتر از 10^{-13} s برابر با مقادیر چگالی شار تابشی معادل MPE در 10^{-13} s درنظر گرفته می‌شود.

[c] در گستره طول‌موج بین ۴۵۰ nm و ۶۰۰nm، حدود دوگانه‌ای به‌کار می‌روند و پرتوگیری نباید از هر یک از دو حد قابل کاربردتجاوز نماید.

[d] زاویه γ_{ph}، زاویه اندازه‌گیری محدود پذیرش است.

[e] مدت زمان‌های پرتوگیری بین ۱ تا ۱۰ s به‌کار می‌روند؛ برای طول‌موج‌های بین ۴۰۰ nm تا ۴۸۴ nm و برای اندازه‌های چشمه ظاهری بین ۱٫۵ mrad و ۸۲ mrad حددوگانه خطر فوتوشیمیایی C_BJ cm^{-2} sr $^{-1}$ به $3{,}9\times10^{-3}$ s گسترش می‌یابد.

[f] در گستره طول‌موج بین ۱۲۵۰ nm و ۱۴۰۰ nm، حدودی برای حفاظت از شبکیه در این جدول تعیین شده که ممکن است برای حفاظت از بخش‌های قدامی چشم (قرنیه، عنبیه) مناسب نباشد و احتیاط لازم باید صورت گیرد. اگر پرتوگیری از مقادیر MPE پوست تجاوز نکند هیچ نگرانی برای بخش‌های قدامی چشم وجود ندارد.

[g] برای مدت زمان پرتوگیری کمتر از ۰٫۲۵ ثانیه، حدودی برای حفاظت از شبکیه در این جدول تعیین شده که ممکن است برای حفاظت از بخش‌های قدامی چشم (قرنیه، عنبیه) مناسب نباشد و احتیاط لازم باید صورت گیرد.اگرپرتوگیری از مقادیر MPE پوست تجاوز نکندهیچ نگرانی برای بخش‌های قدامی چشم وجود ندارد.

جدول الف-۵- بیشینه پرتوگیری مجاز (*MPE*) پوست از تابش لیزر[a,b]

طول موج λ nm	زمان پرتو گیری t s				
	$<10^{-9}$	10^{-9} تا 10^{-7}	10^{-7} تا 10^{-3}	۱۰ تا 10^{3}	10^{3} تا 3×10^{4}
۱۸۰ تا ۳۰۲٫۵	3×10^{10} W·m^{-2}	۳۰ J·m^{-2}			
۳۰۲٫۵ تا ۳۱۵		C_1J·m^{-2} ($t \le T_1$)	C_2J·m^{-2} ($t > T_1$)	C_2J·m^{-2}	
۳۱۵ تا ۴۰۰		C_1J·m^{-2}		10^{4} J·m^{-2}	۱۰ W·m^{-2}
۴۰۰ تا ۷۰۰	2×10^{11} W·m^{-2}	۲۰۰ J·m^{-2}	$1.1\times10^{4}t^{0.25}$ J·m^{-2}	۲۰۰۰ W·m^{-2}	
۷۰۰ تا ۱۴۰۰	$2\times10^{11}C_4$W·m^{-2}	$200C_4$J·m^{-2}	$1.1\times10^{4}C_4t^{0.25}$ J·m^{-2}	۲۰۰۰C_4W·m^{-2}	
۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰	10^{12} W·m^{-2}		$5600t^{0.25}$ J·m^{-2} 10^{3} J·m^{-2}	۱۰۰۰ W·m$^{-2}C_7^2$	
۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰	10^{13} W·m^{-2}		10^{4} J·m^{-2}		
۱۸۰۰ تا ۲۶۰۰	10^{12} W·m^{-2}		$1000C_7^2$ W·m$^{-2}5600t^{0.25}$ J·m^{-2} 10^{3} J·m^{-2}		
۲۶۰۰ تا 10^{6}	10^{11} W·m^{-2}		$1000C_7^2$ W·m$^{-2}5600t^{0.25}$ J·m^{-2} ۱۰۰ J·m^{-2}		

[a] برای ضرایب تصحیح و واحدها، به جدول ۹ مراجعه کنید.

[b] تنها شواهد محدودی در مورد اثرات برای پرتوگیری‌های کمتر از 10^{-9}s وجود دارند. مقادیر *MPE* برای این مدت زمان‌های گسیل با نگهداشتن چگالی شار تابشی به‌کار رفته در 10^{-9}s به‌دست می‌آیند.

[c] برای نواحی پوستی در معرض قرارگرفته بزرگتر از ۰٫۱ m^2، *MPE* به ۱۰۰ W.m^{-2} کاهش می‌یابد.
بین ۰٫۰۱ m^2 و ۰٫۱ m^2، *MPE* متناسب با معکوس ناحیه پوستی پرتودهی شده تغییر می‌کند.

الف-۲ روزنه‌های محدودکننده

روزنه مناسب باید برای تمامی اندازه‌گیری‌ها و محاسبات مقادیر پرتوگیری مورد استفاده قرار گیرد. این، روزنه محدودکننده‌ای است و از نظر قطر یک ناحیه دایره‌ای معینی است که تابندگی یا چگالی انرژی در آن میانگین‌گیری شده است. مقادیر برای روزنه‌های محدودکننده در جدول الف-۶ نشان داده شده است. زمانی که مقادیر *MPE*برای ناحیه خطر شبکیه به‌عنوان توان یا انرژی استفاده می‌شوند (جدول الف-۳ یا الف-۴) مقدار پرتوگیری به‌عنوان توان یا انرژی درنظر گرفته شده و به‌عنوان توان یا انرژی عبوری از یک روزنه با قطر ۷mm تعیین می‌شود.

برای پرتوگیری‌های لیزر تپی قابل تکرار در محدوده طیفی بین ۱۴۰۰ nm تا $۱۰^{۵}$ nm، روزنه ۱ mm برای ارزشیابی خطر از یک تپ مستقل استفاده می‌شود: در حالیکه روزنه ۳٫۵mm برای ارزشیابی *MPE* قابل کاربرد برای پرتوگیری‌های بزرگتر از ۱۰ s به‌کار می‌رود.

مقادیر پرتوگیری‌های چشمی در گستره طول‌موجی ۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm روی یک روزنه با قطر ۷ mm اندازه‌گیری شده‌اند(مردمک). مقدار *MPE*نباید با مقادیر کوچکتر از قطر مردمک تنظیم شده باشد.

جدول الف-۶- روزنه‌های محدودکننده برای اندازه‌گیری چگالی شار تابشی و چگالی انرژی لیزر

گستره طیفی nm	قطر روزنه mm	
	چشم	پوست
۱۸۰ تا ۴۰۰	۱	۳٫۵
۴۰۰ ≤ تا ۱۴۰۰	۷	۳٫۵
	$t \leq$ ۰٫۳۵ s برای ۱	
۱۴۰۰ ≤ تا $۱۰^{۵}$	$۱٫۵t_{۰٫۳۵}^{۳/۸}$ s $< t <$ ۱۰ s برای	۳٫۵
	$t \geq$ ۱۰ s برای ۳٫۵	
$۱۰^{۵}$ ≤ تا $۱۰^{۶}$	۱۱	۱۱
یادآوری: برای پرتوگیری چندین تپ، به زیربند الف-۳ رجوع کنید.		

الف-۳ لیزرهای تپی تکرارپذیر یا مدوله‌شده

روش‌های زیر باید برای تعیین *MPE* که برای پرتوگیری تابش تپی تکرارپذیر به‌کار می‌روند، مورد استفاده قرار گیرند.

پرتوگیری از هر گروه تپ (یا زیرگروه تپ‌ها در یک قطار تپ) دریافتی در زمانی معین، نباید از مقدار *MPE* برای آن زمان تجاوز نماید.

مقدار *MPE* برای پرتوگیری چشمی برای طول موج‌های کمتر از ۴۰۰ nm و بزرگتر از ۱۴۰۰ nmو مانند *MPE* برای پرتوگیری پوست با محدودکننده‌ترین الزامات الف) و ب) محدود شده است.

مقدار *MPE* برای پرتوگیری چشمی برای طول‌موج‌های بین ۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰nmبا استفاده از محدودکننده-ترین الزامات الف)، ب) و پ) تعیین شده است. الزامپ) تنها برای حدودگرمایی شبکیه‌ای به‌کار می‌رود و برای حدود فوتوشیمیایی شبکیه‌ای به‌کار نمی‌رود.

الف- پرتوگیری از هر تک تپ درقطار تپ، از مقدار *MPE* برای تک تپ تجاوز نمی‌کند.

ب- پرتوگیری میانگین برای هر قطار تپ مدت پرتوگیری T، از مقدار *MPE* تعیین شده در جداول الف-۱، الف-۲ و الف-۳ برای تک تپ مدت پرتوگیری Tتجاوز نمی‌کند. برای الگوهای نامنظم تپ (از جمله انرژی‌های متغیر تپ)، T بین مقادیر T_i و بیشینه مدت زمان پرتوگیری فرض شده قرار می‌گیرد. برای الگوهای‌های منظم تپ متوسط‌گیری روی بیشینه مدت زمان پرتوگیری فرض شده کافی است.

پ-پرتوگیری به ازای هر تپ از مقدار *MPE*برای تک تپ که در ضریب C_5 ضرب شده است،تجاوز نمی‌کند. ضریب C_5 تنها برای مدت زمان تپ مستقل کوتاهتر از ۰٫۲۵s به‌کار می‌رود.

$$MPE_{s.p.train} = MPE_{single} \times C_5$$

که در آن:

MPE_{single}بیشینه پرتوگیری مجازبرای تک تپ؛

$MPE_{s.p.train}$، بیشینه پرتوگیری مجازبرای هر تک تپ درقطار تپ است.

اگر مدت زمان تپ $t \leq T_i$باشد :

برای بیشینه مدت زمان پرتوگیری موردد نظر کوچکتر یا مساوی ۰٫۲۵ s، $C_5 = 1$است.

برای بیشینه مدت زمان پرتوگیری مورد نظر بزرگتر از ۰٫۲۵ s

اگر $N \leq 6000$ $C_5 = 1$است.

اگر $N > 6000$ $C_5 = N^{-0.25}$با مقدار کمینه ۰٫۴ است.

اگر مدت زمان تپ $t > T_i$باشد :

برای $\alpha \leq 5$mrad، $C_5 = 1$است.

برای $5\ \text{mrad} < \alpha \leq \alpha_{max}$

اگر $N \leq 4000$، $C_5 = N^{-0.25}$است.

اگر $N > 4000$، $C_5 = 0.4$است.

برای $\alpha > \alpha_{max}$

اگر $N \leq 6250$برای $C_5 = N^{-0.25}$است.

اگر $N > 6250$ $C_5 = 0.2$است.

مگراینکه$\alpha > 100$mrad، جایی که در آن در همه موارد $C_5 = 1$است.

N تعداد تپ موثر در قطار تپ در مدت زمان پرتوگیری ارزیابی شده‌است. (هنگامی که تپ‌ها در T_i (جدول ۲) رخ داده، N کمتر از تعداد واقعی تپ‌ها است، در ادامه مشاهده کنید.). بیشینه مدت زمان پرتوگیریکه برای ارزیابیT_2(به جدول ۹ را رجوع شود)، یا مدت زمان پرتوگیری در نظر گرفته شده، هرکدام که کوتاهتر باشد،نیاز به توصیف دارد.

اگر چندین تپ در دوره زمانی T_i(جدول ۲) به وجود آمده باشند، آن‌ها به‌عنوان یک تک تپ برای تعیین Nمحاسبه می‌شوند و انرژی‌های تپ‌های مستقل برای مقایسه با MPEمربوط به T_iاضافه می‌شوند.

الف-۴ شرایط اندازه‌گیری

الف-۴-۱ کلیات

به منظور ارزشیابی پرتوگیری حقیقی، شرایط اندازه‌گیری زیر باید به‌کار روند.

الف-۴-۲ روزنه محدودکننده

مقادیر چگالی انرژی یا چگالی شار تابشیبرای مقایسه با MPEمرتبط، روی یکروزنه‌بند دایره‌ای مطابق روزنه‌های محـدودکننده جدول الف-۶میانگین‌گیری شده‌اند. برای پرتوگیری چشمی در گستره طول‌موجی ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm، یک فاصله کمینه۱۰۰ mm استفاده می‌شود.

الف-۴-۳ زاویه پذیرش

۱) حدودفوتوشیمیایی شبکیه‌ای

برای اندازه‌گیری‌های چشمه‌ها به‌منظور ارزشیابی در برابر حدود فوتوشیمیایی (۴۰۰nm تا ۶۰۰nm)، زاویه پذیرش محدودکنندهγ_{ph}به قرار زیر است:

برای $10\text{s} < t \leq 100\text{s}$: $\gamma_{ph} = 11$ mrad

برای $100\text{s} < t \leq 10^4\text{s}$: $\gamma_{ph} = 1.1\ t^{0.5}$ mrad

برای $10^4\text{s} < t \leq 3 \times 10^4\text{s}$: $\gamma_{ph} = 110$ mrad

اگر حد زاویه‌ای چشمه αبزرگتر از زاویه پذیرش محدودکننده معین برای γ_{ph}باشد، زاویه پذیرش نباید بزرگتر از مقادیر تعیین‌شده برای γ_{ph}باشد. اگر حد زاویه‌ای چشمه αکوچکتر از زاویه پذیرش محدودکننده معین γ_{ph}باشد، زاویه پذیرش باید به‌طور کامل چشمه تحت نظر را در بر گیرد اما به آن نیازی ندارد. در غیر این صورت، به خوبی تعریف شده است. (یعنی زاویه پذیرش نیازی به محدود شدن تا مقدارγ_{ph}ندارد.)

یادآوری-برای اندازه‌گیری‌های چشمه‌های تک که در آن $\alpha < \gamma_{ph}$،اندازه‌گیری با یک زاویه پذیرش خاص و کاملاً معین ضروری نیست. برای به‌دست آوردن زاویه پذیرش کاملاً معین، زاویه پذیرش می‌تواند با تصویربرداری چشمه بر روی میدان‌بند یا با پوشاندن چشمه تعیین شود- (شکل‌های ۱ و ۲ را به ترتیب مشاهده کنید.)

۲) تمامحدود دیگر

برای اندازه‌گیری تابش در مقایسه با حدودی به غیر از حدود فوتوشیمیایی، زاویه پذیرش باید به‌طور کامل چشمه تحت نظر را در برگیرد. (یعنی زاویه پذیرش باید در نهایت به بزرگی حد زاویه‌ای چشمه αباشد.) با این حال اگر$\alpha>\alpha_{max}$باشد در گستره طول‌موجی ۳۰۲٫۵nm تا ۴۰۰۰nm زاویه پذیرش محـدودکننده نباید بزرگتر از α_{max}برای حدود خطر گرمایی باشد. در گستره طول‌موجی ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm برای حدود خطر گرمایی، برای ارزشیابی یک چشمه ظاهری که شامل چندین نقطه‌هاست، زاویه پذیرش در محدوده $\alpha_{min}<\gamma<\alpha_{max}$دارای تغییر است. (به زیربند۴-۳-ترجوع شود.)

برای تعیین *MPE*برای چشمه‌هایی با الگوهای گسیل غیردایره‌ای، مقدار حد زاویه‌ای یک چشمه خطی یا مستطیلی با میانگین عددی دو بعد زاویه‌ای چشمه تعیین می‌شود. هر بعد زاویه‌ای که بزرگتر از α_{max}یا کوچکتر از α_{min}باشدباید به ترتیب به α_{max}یا α_{min}قبل از محاسبه میانگین محدود شوند. حدود خطر فوتوشیمیایی شبکیه-ای به حد زاویه‌ای چشمه بستگی ندارد و چشمه با زاویه پذیرش تعیین‌شده در بالا اندازه‌گیری می‌شود.

الف-۵ لیزرهای چشمه گسترده

تصحیح‌های زیر برای *MPE*های چشمه کوچک در اکثر موارد برای مشاهده بازتاب‌های پراکنده محدود شده‌اند و در برخی موارد این تصحیح‌ها می‌تواند برای آرایه‌های لیزری، لیزرهای خطی، لیزرهایی با قطرهایی با کمر باریکه بیش از ۰٫۲ mm و زاویه واگرایی بیش از ۲ mrad یا محصولات لیزری منتشرکننده چشمه گسترده به‌کار رود.

برای تابش لیزر چشمه گسترده (برای مثال، مشاهده بازتاب پراکنده) در طول‌موج‌هایی از ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm، مقادیر *MPEs*خطر گرمایی چشمی با ضریب C_6 افزایش یافته است و حد زاویه‌ای چشمه (اندازه گیری شده در چشم ناظر) بزرگتر از α_{min} که در آن α_{min}برابر ۱٫۵ mrad است را ایجاد می‌کند.

ضریب تصحیح C_6به قرار زیر تعیین شده است:

برای $\alpha < \alpha_{min}$، $C_6 = 1$

برای $\alpha_{min} < \alpha < \alpha_{max}$، $C_6 = \alpha/\alpha_{min}$

برای $\alpha > \alpha_{max}$، $C_6 = \alpha_{max}/\alpha_{min}$

پیوست ب
(اطلاعاتی)
نمونه‌هایی از محاسبات

ب-۱ نمادهای استفاده شده در مثال‌های این پیوست

نماد	واحد	تعریف
a	m	قطر باریکه لیزر ساطع‌شده
AEL	$W, J, W.m^{-2}, J.m^{-2}$	حد گسیل قابل دسترس
α	rad	حد زاویه‌ای یک چشمه ظاهری(یا یک بازتاب پخش) که در نقطه‌ای از فضا مشاهده شده است.
α_{min}	rad	حد زاویه‌ای کمینه چشمه که به‌عنوان معیار چشمه گسترده به‌کار می‌رود.
$C_1, C_2, ..., C_7$	1	ضرایب تصحیح (جدول ۹)
PRF	Hz	فرکانس تکرار تپ
H	$J.m^{-2}$	چگالی انرژی
E	$W.m^{-2}$	تابندگی در فاصله معین، r، از یک چشمه ظاهری
H_0	$J.m^{-2}$	چگالی انرژی باریکه ساطع‌شده
E_0	$W.m^{-2}$	تابندگی در فاصله صفر از چشمه ظاهری
λ	nm	طول موج تابش لیزر
N	1	تعداد تپ‌های موجود در مدت زمان پرتوگیری
P_0	W	توان تابشی کل(شار تابشی) لیزر پیوسته، یا میانگین توان تابشی لیزر تپی قابل تکرار
P_p	W	توان تابشی در یک تپ از لیزر تپی
Φ	rad	زاویه واگرایی یک باریکه لیزر ساطع‌شده
π	1	ثابت عددی برابر ۳٫۱۴۲
Q	J	انرژی تابشی یک لیزر تپی
t	s	مدت زمان یک تک تپ لیزر
T	s	مدت پرتوگیری کل قطاری از تپ‌ها
T_1, T_2	s	نقاط انفصال زمانی (جدول ۱۰)

ب-۲ طبقه‌بندی یک محصول لیزری –کلیات

مثال‌های ارائه شده در این پیوست فرایند محاسبه و ارزیابی برای طبقه‌بندی یک محصول لیزری را از پارامترهای اندازه‌گیری شده به‌دست آمده توسط شرایط اندازه‌گیری تعیین شده در این استاندارد نشان داده شده است. فلوچارت‌های تهیه شده در این پیوست مراحل اصلی که به‌منظور تکمیل محاسبه برای یک محصول

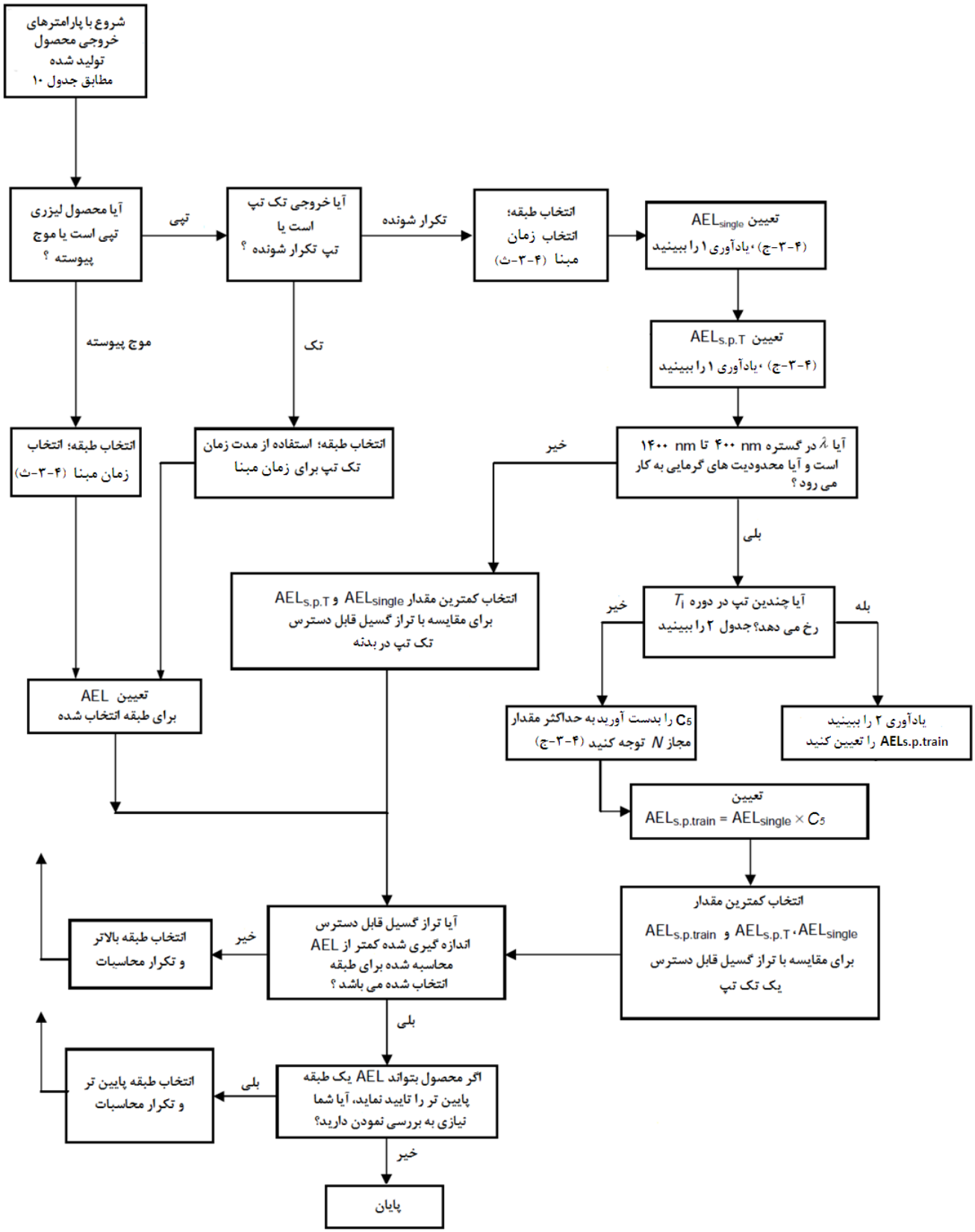
لیزری مورد نیاز است را نشان می‌دهد اما تمامی محصولات لیزری ممکن، توسط این فلوچارت‌ها در بر گرفته نمی‌شوند.

همان‌طورکه در زیربندهای۴-۲ و ۴-۳ تعیین شده است:

- این، قابلیت مسئولیت‌پذیری سازنده یا نمایندگی آن است که طبقه‌بندی صحیح یک محصول لیزری را تهیه کند. محصول براساس آن‌که ترکیب توان خروجی و طول‌موج تابش لیزر قابل دسترس بیش از محدوده کامل توانایی حین عملکرد در هر زمان بعد از ساخت است طبقه‌بندی شده است که نتیجه آن، تخصیص دادن آنها به بالاترین طبقه مناسب است. حد گسیل قابل دسترس *AEL*برای طبقه ۱، 1C و 1M، طبقه ۲ و طبقه 2M، طبقه 3Rو 3B(به‌منظور افزایش خطر لیست شده است.) در جداول ۳ تا ۸ ارائه شده‌اند.
- مقادیر ضرایب تصحیح مورد استفاده در جدول ۱۰ بر حسب طول موج، مدت گسیل، تعداد تپ‌ها و حد زاویه‌ای ارائه شده‌اند.

اگر کاربر، محصول لیزری را به‌گونه‌ای که تابش لیزر تغییر کند، اصلاح نماید، اطمینان از طبقه‌بندی صحیح محصول به عهده خود اوست.

طبقه‌بندی صحیح یک محصول لیزری ممکن است شامل محاسبه *AEL*برای بیش از یکی از طبقه‌های ذکر شده در زیربند ۵-۳ برای تعیین طبقه‌بندی صحیح باشد همان‌طورکه در شکل‌های ب-۱ و ب-۲ نشان داده شده است.مثال *AEL*ها برای طبقه ۱ در شکل‌های ب-۳ تا ب-۵ ارائه شده است.


شروع با پارامترهای خروجی محصول تولید شده مطابق جدول ۱۰
آیا محصول لیزری تپی است یا موج پیوسته ؟
تپی
آیا خروجی تک تپ است یا تپ تکرار شونده ؟
تکرار شونده
انتخاب طبقه؛ انتخاب زمان مبنا (۴-۳-ث)
تعیین AEL_{single} (۴-۳-ج)، یادآوری ۱ را ببینید
تعیین $AEL_{s.p.T}$ (۴-۳-ج)، یادآوری ۱ را ببینید
آیا λ در گستره ۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm است و آیا محدودیت های گرمایی به کار می رود ؟
خیر
بلی
موج پیوسته
تک
انتخاب طبقه؛ انتخاب زمان مبنا (۴-۳-ث)
انتخاب طبقه؛ استفاده از مدت زمان تک تپ برای زمان مبنا
انتخاب کمترین مقدار AEL_{single} و $AEL_{s.p.T}$ برای مقایسه با تراز گسیل قابل دسترس تک تپ در بدنه
آیا چندین تپ در دوره T_i رخ می دهد؟ جدول ۲ را ببینید
خیر
بله
تعیین AEL برای طبقه انتخاب شده
C_5 را بدست آورید به حداکثر مقدار مجاز N توجه کنید (۴-۳-ج)
یادآوری ۲ را ببینید AELs.p.train را تعیین کنید
تعیین $AEL_{s.p.train} = AEL_{single} \times C_5$
انتخاب کمترین مقدار AEL_{single}، $AEL_{s.p.T}$ و $AEL_{s.p.train}$ برای مقایسه با تراز گسیل قابل دسترس یک تک تپ
آیا تراز گسیل قابل دسترس اندازه گیری شده کمتر از AEL محاسبه شده برای طبقه انتخاب شده می باشد ؟
خیر
انتخاب طبقه بالاتر و تکرار محاسبات
بلی
اگر محصول بتواند AEL یک طبقه پایین تر را تایید نماید، آیا شما نیازی به بررسی نمودن دارید؟
بلی
انتخاب طبقه پایین تر و تکرار محاسبات
خیر
پایان

یادآوری۱- در این فلوچارتAEL_{single}براساس مدت یک تک تپ تعیین می‌شود.

$AEL_{s.p.T}$از AEL_Tتعیین شده براساس پایه زمانی انتخاب شده محاسبه می‌شود، جایی که:

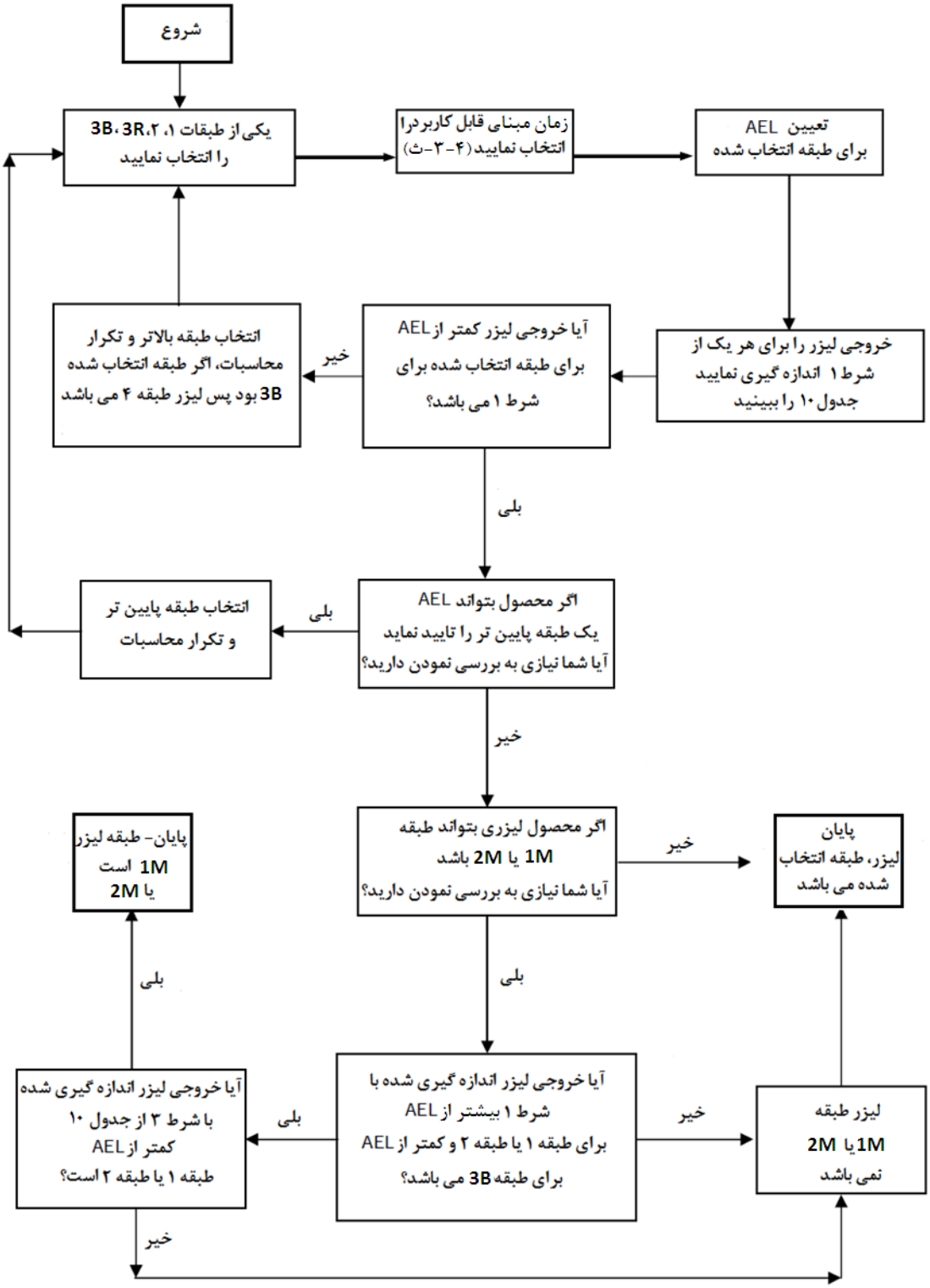
اگر AEL_Tدر واحد Jیا $J.m^{-2}$باشد بنابراین $AEL_{s.p.T} = AEL_T/N_T$(در واحدهای J یا $J.m^{-2}$)

اگر AEL_Tدر واحد W یا $W.m^{-2}$باشد بنابراین $AEL_{s,p.T} = AEL_T/PRF$(در واحدهای J یا $J.m^{-2}$)

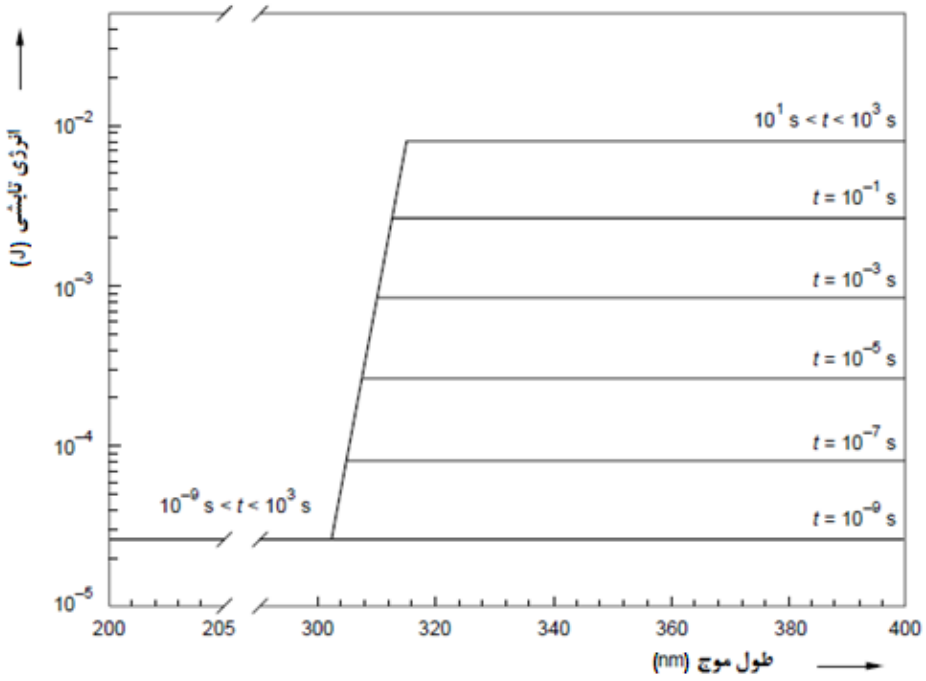
در اینجا T پایه زمانی انتخاب شده در واحد ثانیه و N_T تعداد تپ‌ها در زمان T هستند.

یادآوری ۲- اگر تپ‌های چندگانه در دوره T_iرخ دهند، مدت تک تپ به T_i تغییر کرده و مقدار جدیدی از AEL_{single} محاسبه می‌شود. تغییر PRF مطابق با تعیین بیشینه مقدار مجاز N (زیربند ۷-۳-۱) است. تقسیم‌بندی مقدار جدید AEL_{single}با تعداد تپ‌های اصلی موجود در دوره T_i قبل از جایگزینی مقدار نهایی AEL_{single}در معادله برای $AEL_{s.p.train}$انجام می‌شوند.

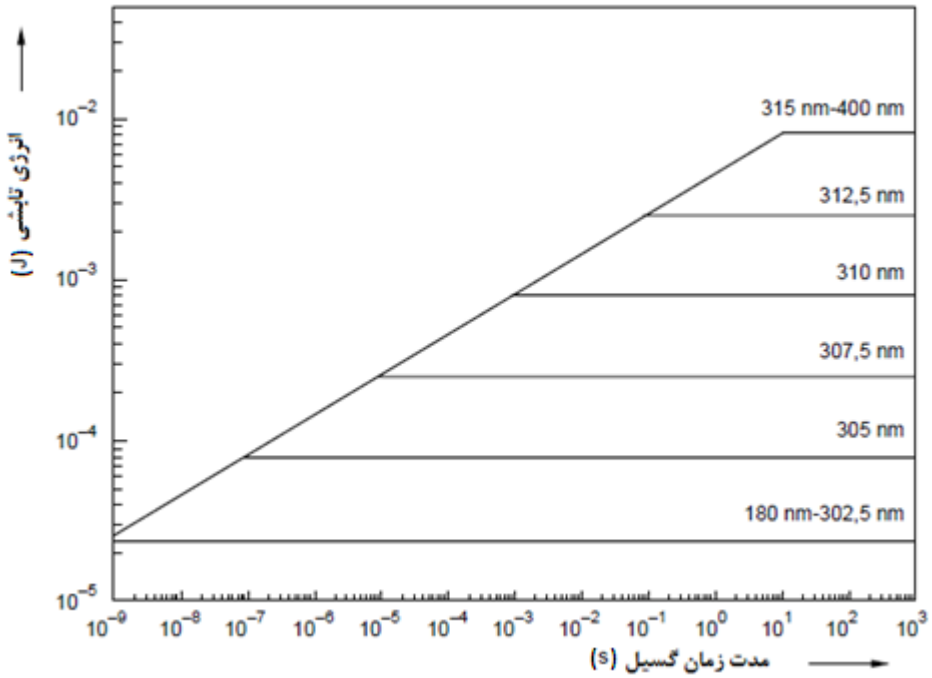
شکل ب-۱- فلوچارت راهنما برای طبقه‌بندی محصولات لیزری از پارامترهای خروجی ارائه شده



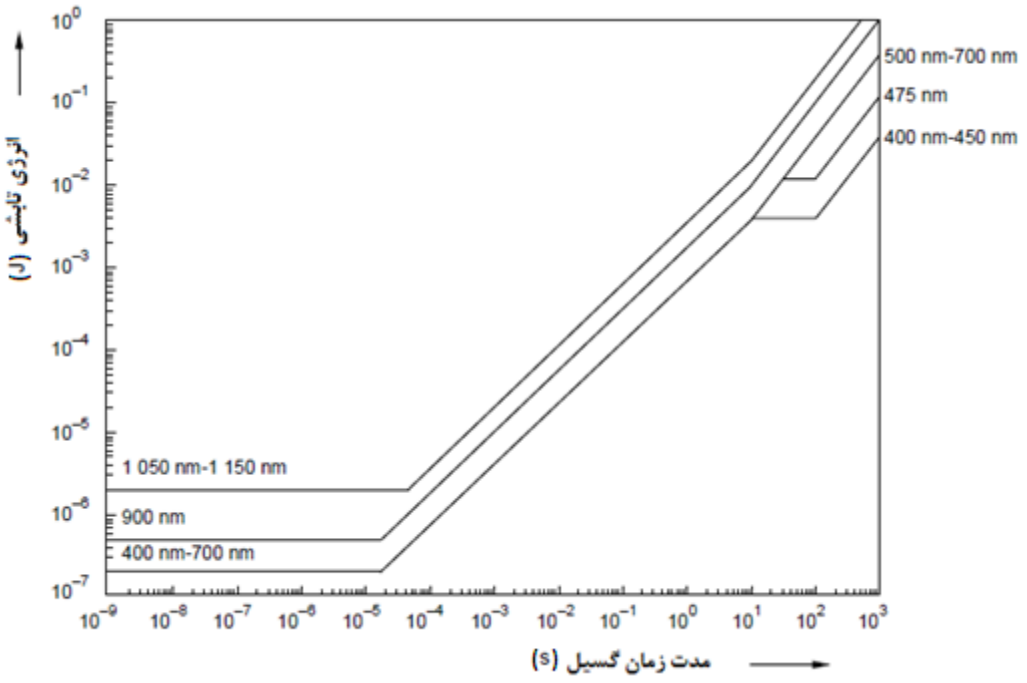
شکل ب-۲- فلوچارت راهنما برای طبقه‌بندی محصولات لیزری طبقه 1M و طبقه 2M



شکل ب-۳- حد *AEL* برای محصولات لیزری فرابنفش طبقه ۱ برای مدت زمان‌های گسیل انتخابی از 10^{-9}s تا 10^{3}s



شکل ب-۴- حد *AEL* برای محصولات لیزری فرابنفش طبقه ۱ برای مدت زمان‌های گسیل از 10^{-9}s تا 10^{3}s در طول-موج‌های انتخابی



شکل ب-۵- حد *AEL* برایمحصولات لیزری مرئی و فروسرخ انتخابی طبقه ۱ (مورد ۱=C_6)

ب-۳ مثال‌ها

مثال ب-۳-۱

یک لیزر He-Ne پیوسته با طول‌موج ۶۳۳ nm، با توان خروجی ۵۰ mW، قطر باریکه ۳ mm و واگرایی باریکه ۱mrad را طبقه‌بندی کنید.

حل:

از خصوصیات باریکه می‌تواند این مطلب استنباط شود که، این یک چشمه نقطه‌ای کامل موازی شده است که در آن $\alpha \leq \alpha_{min}$= 1.5 mrad. به علت قطر کم باریکه و زاویه واگرایی، توان کامل باریکه از یک روزنه ۷ mm عبور کرده و از این رو شرایط اندازه‌گیری ۱و ۳، همان سطح گسیل قابل دسترس را خواهد داد. یک طبقه و یک زمان مبنا را انتخاب کنید.(به زیربند۴-۳-ثرجوع شود.)

طبقه 3B و زمان مبنای ۱۰۰ s را انتخاب کنید. اگر چه خروجی لیزر در گستره طول‌موج مرئی ۴۰۰ nmتا ۷۰۰ nm است، زمان مبنای ۰٫۲۵ ثانیه برای طبقه 3Bمجاز نبوده و مشاهده عمدی بعید است.

برای طبقه 3Bاز جدول ۸ به‌دست می‌آید:

$$AEL=0.5\text{W}$$

چون لیزر تنها ۵۰ mW را گسیل می‌کند، حد گسیل قابل دسترس برای طبقه 3Bافزایش نمی‌یابد و می‌تواند به‌عنوان طبقه 3Bطبقه‌بندی شود. زیربند ۴-۳- الف بیان می‌کند *AEL* برای تمام طبقات پایین‌تر باید افزایش یابد، با این حال همیشه ممکن نیست این دقیق باشد که محصول، الزامات طبقه‌بندی پایین‌تر را تایید نخواهد کرد، بنابراین در شرایط تردید، الزامات مربوط به طبقات پایین‌تر را بررسی کنید.
برای طبقه 3R، زمان مبنای ۰٫۲۵ ثانیه ممکن است برای گسیل گستره طول‌موجی ۴۰۰ nmتا ۷۰۰ nm استفاده شود، بنابراین از جدول ۶ داریم:

$$AEL = 5 \times 10^{-3} C_6 \text{ W}$$

از جدول ۹، C_6=1 برای نگاه مستقیم به یک باریکه کاملاً موازی شده، یعنی $\alpha \leq$ 1.5 mrad داریم:

$$AEL = 5 \text{ mW}$$

چون خروجی لیزر ۵۰ mW است، از حد گسیل قابل دسترس برای طبقه 3Rبیشتر است اما کمتر از حد *AEL* برای طبقه 3Bاست، بنابراین، لیزر به‌عنوان طبقه 3Bطبقه‌بندی خواهد شد.

مثال ب-۳-۲

یک لیزر دیودی پیوسته ۱۲ mW (λ= 900nm) بدون عدسی موازی‌کننده دارای واگرایی باریکه ۰٫۵ rad است و پارامترهای زیر برای شرایط اندازه‌گیری تعیین شده در جدول ۱۰ داده شده است. طبقه آن چیست؟ به فرض، حد زاویه‌ای αچشمه در یک فاصله اندازه گیری ۱۰۰ mm کمتر از α_{min}است.
شرط ۱: کمتر از ۲۰ میکروواوت از یک روزنه‌بند۵۰ mm در ۲ متری تراشه دیود لیزر
شرط ۳: ۰٫۷ میلی‌وات از یک روزنه‌بند۷ mm در ۱۰۰ میلی‌متری تراشه دیود لیزر

حل:

برای چنین چشمه واگرایی، واضح است که شرط ۳محدودتر از شرط ۱ خواهد بود.
طبقه ۱ و زمان مبنای ۱۰۰ ثانیه را انتخاب کنید (۴-۳- ث)، پس برای یک لیزر با طول موج ۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm و$\alpha \leq$ 1.5 mrad وC_6= 1(به جدول ۹رجوع کنید)، حد *AEL*برای طبقه ۱ از جدول ۳ به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$AEL = 3.9 \times 10^{-4} C_4 C_7 \text{ W}$$

که در آن با استفاده از جدول ۹، $C_4 = 10^{\,0.002(\lambda - 700)} = 2.51$, $C_7 = 1$
بنابراین

$$AEL = 0.98 \text{ mW}$$

زمانی که داده‌های شرط ۳ را با حد *AEL* برای محصولات لیزری طبقه ۱ مقایسه می‌کنیم محصول را با دستورالعمل‌های طبقه ۱ در نظر می‌گیرد.
اگر کاربر یک عدسی موازی‌کننده را به این دیود لیزر سوار کند، محصول ممکن است به طبقه‌بندی نیاز داشته باشد.
همچنین، این احتیاط را باید در نظر گرفت که مشاهده این چشمه با یک ذره‌بین با قدرت بالا ممکن است خطرناک باشد. دامنه طبقه‌بندی این استاندارد تنها شامل ذره‌بین‌های دستی بیشاز ۷ برابر است، به زیربند پ-۳ رجوع شود.

مثال ب-۳-۳

یک لیزر Nd تک تپ با فرکانس دوبل شده، با مشخصات خروجی که در ذیل آمده است را طبقه‌بندی کنید، هر دو طول‌موج را در همان زمان گسیل شده در نظر می‌گیرد.

انرژی تپ خروجی ۱۰۰ mJ در λ= 1060 nm

انرژی تپ خروجی ۲۵ mJ در λ= 530 nm

مدت زمان تپ ۲۵ s

قطر روزنه خروجی ۵ mm

واگرایی باریکه در هر طول موج کمتر از ۱ mrad

حل:

اگر باریکه‌ها با هم منتشر شوند و لیزر به این ترتیب طبقه‌بندی شود، محدودکننده‌ترین نمونه برای این لیزر است. از آنجایی که باریکه‌ها دارای قطرهای کوچک و واگرایی پایین هستند، واضح است که اندازه‌گیری‌های انجام شده تحت شرایط بیان شده در جدول ۱۰ انرژی کل را برای هر طول‌موج به‌دست خواهند آورد. فرض کنید که لیزر فقط می‌تواند یک تپ در زمان مبنای ۱۰۰ s را گسیل کند، پس مدت زمان تپ می‌تواند برای مدت زمان پرتوگیری مورد استفاده قرار گیرد. با انتخاب یک محصول لیزری طبقه 3B، جدول ۸ حدود*AEL*را به‌صورت زیر ارائه می‌کند:

$$\lambda = 1060\ \text{nm} \qquad AEL_{1060} = 0.03 C_4\ \text{J} = 0.15\ \text{J} = 150\ \text{mJ}$$
$$\lambda = 530\ \text{nm} \qquad AEL_{532} = 0.03\ \text{J} = 30\ \text{mJ}\ (t < 0.06\ \text{s})$$

قوانین برای طبقه‌بندی چند طول‌موج در زیربند۴-۳- ب و جدول ۲ نشان می‌دهد که این دو طول‌موج در چشم افزودنی هستند.

در نتیجه روش توصیف شده در ۴-۳-ب برای تعیین طبقه استفاده می‌شود اگر :

$$\frac{Q_{1060}}{AEL_{1060}} + \frac{Q_{530}}{AEL_{530}} \leq 1$$

با تعویض مقادیر مناسب در واحد mJخواهیم داشت :

$$\frac{100}{150} + \frac{25}{30} = 1.5$$

از آنجائی‌که این بزرگتر از محصول لیزری طبقه ۱ است، باید طبقه‌بندی بالاتر باشد.
بنابراین محصول لیزری طبقه ۴ است.

مثال ب-۳-۴

لیزر پیوستهCO_2(λ= 10.6 μm) مورد استفاده برای یک سامانه امنیتی باریکه باز را طبقه‌بندی کنید . به فرض توان خروجی میانگینW ۰٫۴، قطر باریکه mm ۲ و واگرایی باریکه mrad ۱ است.

حل:

طبقه 3Rرا انتخاب کنید وبرای مشاهده عمدی که مورد نظر نیست، زیربند ۴-۳- ث یک زمان مبنای ۱۰۰ ثانیه‌ای را تعیین می‌کند.
جدول ۹نشان می‌دهد که برای این طول‌موج ۱ C_6= است که جدول ۶ برای آن استفاده می‌شود و حد *AEL* را برای طبقه 3Rبا T = ۱۰۰ s، ۵۰۰۰ $W.m^{-2}$ به‌دست می‌دهد. از جدول ۱۰برای این طول‌موج فقط شرط ۳ به‌کار می‌رود و از آنجا *AEL* دارای واحد $W.m^{-2}$است، یافتن چگالی شار تابشی باریکه برای شرط ۳ مناسب است. با ارجاع به جدول ۱۱ برای نقطه مرجع برای اندازه‌گیری شرط ۳، به نظر می‌رسد که کمر باریکه درون بدنه است و از این رو با رجوع به متن پایین جدول ۱۱ چگالی شار تابشی در نزدیک‌ترین نقطه دسترسی انسان به‌دست می‌آید.
به این نکته توجه کنید که جدول ۱۰ روزنه محدودکننده برای پرتوگیری s ۱۰۰ را، ۳٫۵mm می‌دهد اما قطر باریکه لیزر تنها mm ۲ است. به‌منظور محاسبه چگالی شار تابشی باریکه، ($E_0 = P_0/area$)، باید هر کدام که بیشتر از قطر باریکه اصلی یا روزنه محدودکننده است را استفاده کنید، پس

$$E_0 = \frac{P_0}{area} = \frac{4 \times 0.4}{\pi(3.5 \times 10^{-3})^2} = 4.16 \times 10^4\ W.m^{-2}$$

این حد *AEL* را برای طبقه 3Rبه یک طبقه بالاتر که نیاز به ارزیابی دارد افزایش می‌دهد. جدول ۸*AEL* را برای طبقه 3B، W ۰٫۵ ارائه می‌کند، بنابراین همان‌طورکه توانخروجی لیزر را افزایش می‌دهد، این لیزر به‌عنوان طبقه 3Bطبقه‌بندی می‌شود.

مثال ب-۳-۵

لیزری که تپ‌های ۱ μs با نرخ تکرار فرکانس تپ ۵۰۰ Hz گسیل می‌کند، توان خروجی بیشینه۱۰ kW در $\lambda=$ 694 nm، قطر باریکه ۵ mm و واگرایی باریکه ۰٫۵ mrad است را طبقه‌بنـدی کنید. حد زاویه‌ای باید کوچکتر یا مساوی واگرایی باشد. از این رو می‌توانید یک چشمه نقطه‌ای با ۱٫۵ mrad $=\alpha_{min}<\alpha$را در نظر بگیرید.

زیربند۴-۳- ج، جزئیات دستورالعمل‌ها را برای لیزرهای تپی تکرارپذیر در بر می‌گیرد که در ذیل خلاصه شده‌اند.

- برای تمامی طـول‌موج‌ها، الزامات ۱) و ۲) باید تعیین شوند. علاوه بر این برای طول‌موج‌ها از ۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm الزام ۳) نیز باید برای مقایسه با حدود گرمایی تعیین شود. الزام ۳) نیاز به ارزیابی برای مقایسه با حدود فوتوشیمیایی ندارد.

طبقه 3Bرا انتخاب کنید و برای مشاهده عمدی که مورد انتظار نیست، زیربند ۴-۳-ث زمان مبنای را ۱۰۰ s می‌دهد.

زیربند ۴-۳-ج-۳) بیان می‌کند که اگر چندین تپ در دوره زمانی T_i(برای T_iبه جدول ۲ رجوع شود.) باشند آنها به‌عنوان یک تک تپ برای تعیین Nمحاسبه شده و چگالی انرژی تپ‌های مستقل جمع و با AELمربوط به T_i مقایسه می‌شود. در نتیجه، اگر تپ چندتایی در زمان T_iرخ دهد تطبیق آن ضروری است.اگر دوره زمانی بین تپ‌های لیزر کمتر از T_iباشد موارد زیر باید در نظر گرفته شوند:

کنترل کنید که اگر چندین تپ بتوانند در دوره زمانی T_iمطابق جـدول ۲ رخ دهـد. برای این طول موج لیـزر $T_i= 5\times 10^{-6}$ s و زمان واقعی بین تپ‌ها $1/F = 2 \times 10^{-3}$ sاست، از این رو چندین تپ در دوره زمانی Tiرخ نمی‌دهند. مطابق روش در زیربند ۴-۳-ج:

الف-زیربند ۴-۳-ج-۱) پرتوگیری تک تپ را توصیف می‌کند. جدول ۸ برای $t = 10^{-6}$s می‌دهد :

$$AEL_{single} = 0.03\ \text{J}(t < 0.06\ \text{s})$$

ب-زیربند ۴-۳-ج-۲) توان متوسط برای قطاری از تپ در زمان T را توصیف می‌کند. جدول ۸ حد AELرا برای $T = 100$ s به‌صورت زیر می‌دهد :

$$AEL = 0.5\ \text{W}$$

از آنجاییکه لیزر دارای سری منظم از تپ‌ها است نیازی به متوسط‌گیری برای مدت زمان‌های کمتر نیست. برای راحتی مقایسه (به یادآوری زیربند ۴-۳-ج-۲ رجوع شود) AEL_T به یک تک تپ مرتبط تبدیل می‌شود. در این مورد AEL_Tدارای واحد W است که با تقسیم شدن بر PRF معادل با AEL انرژی هر تپ را می‌دهد، بنابراین

$$AEL_{s.p.T} = \frac{AEL_T}{PRF} = \frac{0.5\ (W)}{500\ (Hz)} = 1 \times 10^{-3}\ \text{J}$$

پ- زیربند ۴-۳-ج-۳) انرژی تک تپ ضرب در C_5 را توصیف می‌کند که مطابق با زیربند ۴-۳-ج-۳) به صورت زیر است

$$AEL_{s.p.train} = AEL_{single} \times C_5 = AEL_{single} \times N^{-0.25}$$

برای $t<T_i$و زمان مبنای بیش از ۰٫۲۵ s

اگر $N \leq$ ۶۰۰، $C_5 =$ ۱است.

اگر $N >$ ۶۰۰، $C_5 = N^{-0.25}5$با مقدار کمینه ۰٫۴ است.

همچنینN به تعداد تپ‌هایی که در دوره $T_2 =$ 10 s برای $\alpha \leq \alpha_{min}$رخ می‌دهند محدود می‌شود. (به جدول ۹رجوع شود.)بنابراین با یک نرخ تکرار تپ ۵۰۰ Hz در ۱۰ s، $N =$ ۵۰۰ × ۱۰ = ۵۰۰۰، که بزرگتر از ۶۰۰ است پس

$$C_5 = 5000^{-0.25}5 = 0.59$$

بنابراین

$$AEL_{s.p.train} = 0.03 \times 0.59 \text{ J}$$
$$AEL_{s.p.train} = 0.018 \text{ J}$$

توجه کنید که سه حد AEL ذکر شده در بالا همگی نسبت به تک تپ می باشند و می توانند مستقیما برای بدست آوردن محدودکننده‌ترین حالت مقایسه شوند. از این رو محدودکننده‌ترین این سه مقدار $AEL_{s.p.T}$است و بنابراین AEL برای طبقه 3B برابر 1×10^{-3} J می باشد.

همان‌طورکه لیزر دارای یک قطر باریکه کوچک با واگرایی کم است، گسیل اندازه‌گیری شده تحت شرایط۱ و ۳ (جدول ۱۰) همان یا به عبارتی معادل با انرژی کل لیزر خواهند بود.AEL (نسبت به انرژی تپ در این مورد) و تراز گسیل (قله توان تعیین شده) باید روی همان خط مبنا باشند، که قله توان گسیل باید به انرژی تپ تبدیل شود. (یا بالعکس)

انرژی هر تپ لیزر، Q، از رابطه زیر به‌دست می‌آید :

$$Q = \text{(قله توان)} \times \text{(مدت زمان تپ)}$$
$$Q = 10^4 \times 1 \times 10^{-6} = 0.01 \text{ J}$$

از آنجائی‌که گسیل قابل دسترس انرژی هر تپ $AEL_{s.p.T}$ را افزایش می‌دهد، محصول لیزری حد AEL را برای طبقه 3Bافزایش داده و بنابراین باید طبقه ۴ باشد.

پیوست پ

(اطلاعاتی)

توصیف طبقات و خطرات بالقوه مرتبط

پ-۱کلیات

این پیوست شامل شرح طبقات همانند خطرات بالقوه مرتبط است.

این پیوست به‌عنوان راهنمایی برای سازنده در ایفای وظایف آنها برای توصیف خطرات مرتبط با محصول است. همچنین این پیوست به محدودیت‌های طرح طبقه‌بندی، یعنیبه موقعیت‌هایی که معمولاً مفهوم طبقه مرتبط متناسب نیست اشاره می‌کند.

طبقه‌بندی، پشتیبانی از کاربر را در ارزشیابی خطر لیزر توسعه داده و لزوم اندازه‌گیری‌های کنترلی کاربر را تعیین می‌کند. طبقه‌بندی لیزر به خطر بالقوه تابش لیزر قابل دسترس با توجه به آسیب پوستی یا چشمی مرتبط است و به خطرات بالقوه دیگر همچون خطرات الکتریکی، مکانیکی یا شیمیایی، یا خطرات ناشی از تابش اپتیکی ثانویه مربوط نیست. منظور از طبقه‌بندی، تشخیص خطر افزایش یافته آسیب با افزایش توان‌های قابل دسترس بیشتر از خط مبنا، شرط طبقه ۱ و اکثر توصیفات دقیق از خطر ناشی از پرتوگیری‌های بالقوه در فواصل کوتاه از لیزر است. محدوده خطر می‌تواند برای لیزرهای مختلف در یک طبقه خاص بسیار متفاوت باشد. خطر بالقوه می‌تواند توسط اندازه‌گیری‌های حفاظتی کاربردیدیگری شامل کنترل‌های مهندسی اضافی مانندبدنه های محافظاست، بسیار کاهش یابد.

پ-۲ توصیف طبقات

پ-۲-۱ طبقه ۱

محصولات لیزری که در حین استفاده ایمن هستند، شامل مشاهده درون باریکه‌ای مستقیم طولانی مدت هستند، حتی زمانی که پرتوگیری با استفاده از ابزار مشاهده اپتیکی (ذره‌بین‌های چشمی یا دوربین‌های دو چشمی) صورت می‌پذیرد. همچنین طبقه ۱ شامل لیزرهای توان بالایی هستند که کاملاً حفاظ‌بندی شده و در نتیجه هیچ تابش خطرناک بالقوه‌ای در حین استفاده قابل دسترس نیست.(محصول لیزری جاسازی شده) مشاهده درون باریکه‌ای محصول لیزری طبقه ۱ که انرژی تابشی مرئی را گسیل می‌کند، ممکن است اثرات خیره‌کننده مرئی به ویژه در نور محیطی کم به وجود آورد.

اصطلاح «ایمن برای چشم» ممکن است فقط برای محصول لیزری طبقه ۱ استفاده شود. اصطلاح «لیزر ایمن برای چشم» نباید منحصراً برای توصیف یک لیزر، براساس طول‌موج خروجی آن که بیشتر از ۱۴۰۰ nm می‌شود به‌کار رود. لیزرها در هر طول موجی با توان خروجی کافی می‌توانند منجر به آسیب شوند.

پ-۲-۲ طبقه 1M

محصولات لیزری که ایمن هستند، از جمله برای مشاهده درون باریکه‌ای مستقیم طولانی مدت برای چشم حفاظت نشده. بیشینه پرتوگیری مجاز*MPE* می‌تواند افزایش یافته و آسیب چشم ممکن است در اثر پرتوگیری با یک یا دو دسته از ابزارهای اپتیکی بزرگ‌کنندهمانند دوربین‌های دوچشمی برای باریکه موازی شده با قطری بزرگتر از قطر اندازه‌گیری شده معین برای شرط ۳ رخ دهد. (به جدول ۱۰ رجوع شود.)

گستره طول‌موجی برای لیزرهای طبقه 1Mبه گستره طیفی محدود شده است که اکثر مواد اپتیکی شیشه‌ای در ابزار اپتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توانند به خوبی، یعنی بین ۳۰۲٫۵nm تا ۴۰۰ nm را انتقال دهند. مشاهده درون باریکه‌ای محصولات لیزری طبقه 1Mکه انرژی تابشی مرئی را گسیل می‌کند، ممکن است اثرات خیرگی دید به ویژه در نور محیطی کم به وجود آورد.

پ-۲-۲ طبقه 1C

محصولات لیزری که برای اعمال مستقیم تابش لیزر روی پوست یا بافت‌های درونی بدن در پزشکی و روش‌های تشخیصی، درمانی، یا آرایشی، مثل برداشتن موهای زائد، رفع چین و چروک پوست، رفع آکنه به‌کار می‌روند. اگرچه تابش لیزر گسیل شده ممکن است در تراز طبقه 3R، 3B یا ۴ باشد، از پرتوگیری‌های چشمی با یک یا چند ابزار مهندسی جلوگیری می‌شود. تراز پرتوگیری پوست به نوع کاربرد وابسته است، پس این جنبه با استانداردهای جانبی در بر گرفته می‌شود. این طبقه در این استاندارد ارائه شده است زیرااین محصولات در حال حاضر در بیشتر فروشگاه‌ها وجوددارند و به‌طور معمول، اندازه‌گیری‌های مهندسی تعیین‌شده برای محصولات لیزری طبقه 3B و ۴ برای آن‌ها نامناسب هستند. کمیته‌های فنی که طبقه 1Cرا به‌کار می‌برند، باید مشخصات مورد نیاز برای ایمنی در استانداردهای جانبی آنها را گسترش دهند.

پ-۲-۴ طبقه ۲

محصولات لیزری که تابش مرئی را در گستره طول‌موجی از ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm گسیل می‌کند که برای پرتوگیری‌های لحظه‌ای ایمن هستند اما می‌توانند برای خیره شدن عمدی به درون باریکه خطرناک باشند. زمان مبنای۰٫۲۵ s در تعیین طبقه مهم است و فرض بر این است که خطر کم آسیب برای پرتوگیری‌های لحظه‌ای که تا حدی طولانی هستند وجود دارد.

عوامل زیر به جلوگیری از آسیب تحت شرایط قابل پیش‌بینی منطقی کمک می‌کنند:

- پرتوگیری‌های غیرتعمدی به ندرت شرایط بدترین حالت را منعکس می‌کنند به‌عنوان مثال: تنظیم باریکه با مردمک چشم برای سر ثابت، تطابق بدترین حالت؛
- حاشیه امن اصلی در *MPE* که براساس آن *AEL* مبنا قرار داده شده و
- رفتارهای ناسازگار طبیعی برای پرتوگیری نور درخشان

برای طبقه ۲ در تمایز با طبقه 2Mاستفاده از ابزار اپتیکی خطر آسیب چشمی را افزایش نمی‌دهد.

با این حال، خیرگی خفیف، نابینایی لحظه‌ای و پس-تصاویر ممکن است توسط باریکه‌ای از محصول لیزری طبقه ۲ به ویژه تحت شرایط نور محیطی کم ایجاد شود. این ممکن است دارای مفاهیم ایمنی معمول غیرمستقیم در نتیجه اختلال لحظه‌ای بینائی یا ناشی از واکنش‌های سریع باشد. چنین اختلالات بینائی می‌توانند به‌طور ویژه مرتبط با انجام اقدامات حساس ایمنی مانند کار با ماشین‌ها یا در ارتفاع، با ولتاژ بالا یا محرک باشند.
کاربرها با استفاده از برچسب‌ها می‌آموزند که به باریکه خیره نشوند، یعنی انجام واکنش‌های محافظتی فعال، با حرکت سر یا بسته نگاه داشتن چشم‌ها و جلوگیری از مشاهده درون باریکه‌ای مداوم .

پ-۲-۵ طبقه 2M

محصولات لیزری که باریکه لیزر مرئی را گسیل می‌کنند و برای پرتوگیری کوتاه مدت تنها برای چشم محافظت نشده ایمن هستند. بیشینه پرتوگیری مجاز *MPE* می‌تواند افزایش یافته و آسیب چشم ممکن است در اثر پرتوگیری با یک یا دو دسته از ابزارهای اپتیکی بزرگ‌کننده مانند دوربین‌های دوچشمی برای باریکه موازی شده با قطری بزرگتر از قطر اندازه‌گیری شده معین برای شرط ۳ رخ دهد. (به جدول ۱۰ رجوع شود.)
با این حال، خیرگی خفیف، نابینایی لحظه‌ای و پس- تصاویر ممکن است توسط باریکه‌ای از محصول لیزری طبقه2M به ویژه تحت شرایط نور محیطی کم ایجاد شود. این ممکن است دارای مفاهیم ایمنی معمول غیرمستقیم در نتیجه اختلال لحظه‌ای بینائی یا ناشی از واکنش‌های سریع باشد. چنین اختلالات بینائی می-توانند به‌طور ویژه مرتبط با انجام اقدامات حساس ایمنی مانند کار با ماشین‌ها یا در ارتفاع، با ولتاژ بالا یا محرک باشند.
کاربرها بااستفاده از برچسب‌ها می‌آموزند که به باریکه خیره نشوند، یعنی انجام واکنش‌های محافظتی فعال، حرکت سر یا بسته نگاه داشتن چشم‌ها و جلوگیری از مشاهده درون باریکه‌ای مداوم. برچسب‌زنی محصولات طبقه 2M درمورد پرتوگیری به استفاده‌کنندگان از ابزارهای اپتیکی بزرگ‌کننده نیز آگاهی می‌دهد.

پ-۲-۶ طبقه 3R

محصولات لیزری که تابشی را گسیل می‌کنند که می‌توانند *MPE* را تحت مشاهده درون باریکه‌ای مستقیم افزایش داده اما خطر آسیب در اکثر موارد نسبتا کم باشد. حد *AEL* برای طبقه 3Rتنها حد *AEL* طبقه ۲ (باریکه‌های لیزر مرئی) یا ۵ برابر حد *AEL* برای طبقه ۱ (برای باریکه‌های لیزر نامرئی) است. برای خطر کمتر، الزامات ساخت و اندازه‌گیری‌های کنترلی کمتری نسبت به به‌کارگیری طبقه 3Rبرای کاربر اعمال می‌شود. در حالی که محصولات لیزری طبقه 3R ذاتا ایمن توصیف نمی شوند، ریسک محدود شده است زیرا که:

- پرتوگیری‌های غیرتعمدی به ندرت شرایط بدترین حالت را منعکس می‌کنند به‌عنوان مثال:تنظیم باریکه با مردمک چشم و تطابق بدترین حالت با انرژی کامل باریکه ورودی به چشم؛
- از عامل کاهش ذاتی (حاشیه امن) در مقدار*MPE*؛

- رفتارهای ناسازگار طبیعی برای پرتوگیری نور درخشان برای مورد تابش مرئی و پاسخ به گرمادهی قرنیه در تابش فروسرخ دور.

ریسکآسیب با مدت زمان پرتوگیری افزایش می‌یابد و پرتوگیری ممکن است برای پرتوگیری چشم تحت بدترین شرایط یا برای مشاهده درون باریکه‌ای عمدی خطرناک باشد.

با توجه بهانواع خطری که مرتبط با لیزرهای طبقه 3Rوجود دارد کنترل‌های معین کاربری (شامل کنترل‌های مهندسی و حفاظت شخصی از چشم) باید به وضوح در دستورالعمل برای کاربر توصیف شده باشند.

یادآوری –درمقایسه با مقادیر *MPE*چشمی همانند مقادیر *AEL*برای طبقه ۱، 1M، ۲، 2M و 3Rتعیین شده در ویرایش قبلی این استاندار، مقادیر مربوط در ویرایش جدید این استاندارد برای برخی چشمه‌های نقطه‌ای تک تپی کاهش یافته است، اما برای اکثر چشمه‌های تپی تکرارپذیر و همچنین برای اکثر چشمه‌های تپی گسترده افزایش یافته است، ضرایب کاهش (حواشی ایمن) در این مقادیر تغییر می‌کنند. در نتیجه برخی محصولات تپی که به‌عنوان طبقه 3Bدر ویرایش قبلی طبقه‌بندی می‌شدند، در این ویرایش طبقه 3Rهستند.برای ویرایش اخیر، تجارب عملی کمتری با توجه به ریسکآسیبدر دسترس وجود دارد، همان‌طورکه برای چشمه-های *CW*با باریکه‌های موازی با توان بیش از ۵mWکه سالیان بسیاری به‌عنوان لیزرهای تنظیم‌کننده استفاده می‌شدند،تجارب کمی وجود دارد.

خیرگی خفیف، نابینایی لحظه ای و پس-تصاویر ممکن است توسط باریکه‌ای از محصول لیزری طبقه ۲ به ویژه تحت شرایط نور محیطی کم ایجاد شود. این ممکن است دارای مفاهیم ایمنی معمول غیرمستقیم در نتیجه اختلال لحظه‌ای بینائی یا ناشی از واکنش‌های سریع باشد. چنین اختلالات بینائی می‌توانند به‌طور ویژه مرتبط با انجام اقدامات حساس ایمنی مانند کار با ماشین‌ها یا در ارتفاع، با ولتاژ بالا یا محرک باشند.

لیزرهای طبقه 3Rباید تنها جایی که مشاهده درون باریکه‌ای مستقیم بعید هستند استفاده شوند.

پ-۲-۷ طبقه 3B

محصولات لیزری که به‌طور معمول زمانی که پرتوگیری درون باریکه‌ای چشم رخ می‌دهد خطرناک هستند (یعنی در *NOHD*) شامل پرتوگیری‌های کوتاه مدت تصادفی. مشاهده بازتاب‌های پخشی معمولاً امن و بی‌خطر است. لیزرهای طبقه 3Bکه نزدیک به حد *AEL* طبقه 3Bهستند ممکن است جراحات خفیف پوستی یا حتی خطر اشتعال مواد آتش‌زا را به همراه داشته باشند. با این حال، تنها اگر باریکه دارای قطری کوچک یا متمرکز شده باشد، این امر محتمل است.

یادآوری –برخی شرایط مشاهده نظری (اما نادر) که در آن مشاهده بازتاب پراکنده می‌تواند *MPE* را افزایش دهد وجود دارد. به‌عنوان مثال برای لیـزرهای طبقـه 3Bکه دارای توان‌هایی نزدیک حد *AEL*است، مشـاهده طولانی بیشتر از ۱۰ s از بازتاب پراکنده واقعی تابش مرئی و مشاهده در فواصل کمتر از ۱۳ cm بین سطح پخش‌کننده و قرنیه می‌تواند *MPE* را افزایش دهد.

پ-۲-۸ طبقه ۴

محصولات لیزری که برای آن‌ها مشاهده درون باریکه‌ای و پرتوگیری پوست خطرناک است و مشاهده بازتاب‌های پراکنده نیز ممکن است خطرناک باشد. این لیزرها نیز اغلب خطر آتش سوزی را نمایش می‌دهند.

پ-۲-۹ یادآوری علائم و اختصارات

حرف «C»در طبقه 1Cاز حالت کاری که در آن تابش لیزر بیش از *AEL* طبقه ۱ است و می‌تواند فقط زمانی که نازل در تماس با (یا خیلی نزدیک به) پوست یا بافت‌های درونی بدن است حاصل شود.

حرف «M»در طبقه 1M و طبقه 2M از ابزار مشاهده اپتیکی بزرگ‌کننده مشتق شده است. حرف «R»در طبقه 3R از کاهش‌دهنده، دستورالعمل‌ها مشتق شده است. دستورالعمل‌های تضعیف‌کننده هر دو برای سازنده (سوئیچ‌زنیغیرکلیدی، توقف باریکه یا تضعیف‌کننده و اتصال‌دهنده قفل همبندی مورد نیاز است) و کاربر. حرف «B»در طبقه 3Bدارای منشاء تاریخی است، چنانکه در تصحیح اولیه چاپ سال ۲۰۰۱ استاندارد، طبقه 3A وجود داشت که دارای مفهوم مشابه با چیزی است که در طبقه 1Mو 2Mاست.

باید به این نکته توجه شود که برای توضیحات بالا، هر زمان که کلمه «خطرناک»استفاده شود یا یک مرجع برای خطر بالای آسیب وجود داشته باشد، این خطر تنها در محدوده اطراف لیزر، جایی که ترازهای *MPE* مربوط افزایش یافته است وجود دارد. برای پرتوگیری چشم بدون محافظ، این گستره به‌وسیله *NOHD* یا برای موازی‌سازی بهتر طبقه 1Mو 2Mکه با دوربین دوچشمی یا تلسکوپ مشاهده شده، به‌وسیله *NOHD* گسترده (*ENOHD*) مرزبندی شده است. ممکن است که یک محصول لیزری خاص (طبقه 3Bو ۴) دارای *NOHD* بسیار کوتاه مربوط با آن باشد، به‌طوری که برای نصب یا کاربرد خاص، برای افراد خارج از *NOHD*، حفاظت از چشم لازم نمی‌باشد. مثال‌هایی از چنین نصب‌ها، لیزرهای جاروبگر یا لیزرهای خطی سوار شده بر روی پوشش اتاق-های ساخته شده است که یک طرح یا خط را روی قطعه کار در محدوده کاری ایجاد می‌کنند. در حالی که تراز توان و الگوی جاروب به‌گونه‌ای باشد که پرتوگیری در منطقه کار زیر حد *MPE* وبنابراین ایمن باشد، تعمیر و نگهداری عادی نیاز به رسیدگی خواهد داشت. به‌عنوان مثال، پرتوگیری در فواصل نزدیک‌تر ممکن است خطرناک باشد، مثلاً زمانی که کاربر در بالای نردبان برای تمیز کردن پنجره خروجی قرار می‌گیرد. مثال دیگر آن است که مدتی که یک الگوی جاروب ممکن است ایمن باشد اگر باریکه به حالت غیرجاروبگری بازگردد، ممکن است خطری به وجود آید. علاوه بر این، برای محصولات لیزری طبقه ۴ یک *NOHD* مرتبط با بازتاب‌های پخشی وجود دارد. (اگر چه این *NOHD* به طور محتمل کاملاً از لحاظ اندازه محدود است.) توصیف خطر مرتبط با یک لیزر و کاربرد خاص آن قسمتی از ارزیابی ریسک‌است.

آزمون‌های طبقه‌بندی برای این طراحی شده‌اند تا نزدیک به بدترین مورد و محدود باشند برایحصول اطمیناناز این که یک محصول طبقه پایین (مثل طبقه ۱) خطری برای چشم یا پوست حتی در موقعیت‌های بد قابل پیش‌بینی ایجاد نکند. در نتیجه، یک محصول طبقه 3Bیا ۴ می‌تواند به‌گونه‌ای طراحی شود که بتواند برای

کاربرد مورد نظر و عملکرد طبیعی آن ایمن تعریف شود، زیرا که خطر فقط در بدترین موقعیت قابل دسترس است. به‌عنوان مثال، محصول می‌تواند یک بدنه محافظ را مشخص کند (که سازگار با استاندارد4-60825 IEC است) اما یک محصول لیزری طبقه ۱ جاسازی شده را به دلایل زیر خراب می‌کند:

- بدنه محافظ، مطابق این استاندارد برای دوره زمانی گسترده (در حالی‌که برای ماشین‌ها مطابق استاندارد 4-60825 IEC ارزشیابی با زمانی کمتر به‌کار می‌رود) آزمون را خراب می‌کند.
- محصول دارای پوشش رویی نیست اما برای محیطی که در آن افراد اطراف حفاظ نیستند ایمن تعریف می‌شود.
- بازرسی خودکار مشخصی از دسترسی در مسیر نیست. (با این حال، در یک محیط کنترل شده، این می‌تواند با اندازه‌گیری قفل‌های منحصر به‌فرد ایمن سازمانی جایگزین شود تا در نزدیکی درب، زمانی که شخصی درون حفاظ است ممانعت کند- که آن اثری بر طبقه‌بندی ندارد، اما روشی را که در آن تراز طراحی شده ایمن برای کاربر را بدست می‌آورد نشان می‌دهد).

در مواردی که در آن خطر مرتبط با محصول لیزری طبقه 3Bو طبقه ۴ به درون حفاظ محدود شده باشد اندازه‌گیری‌های ایمن سازمانی ممکن است کافی باشد. به‌طور مشابه، برای یک سامانه لیزر بدون پوشش یا وضعیتی که در آن ممکن است در سرتاسر حفاظ بعد از اشکال مداوم طولانی، سوختگی رخ دهد اندازه‌گیری‌های ایمن سازمانی ممکن است کافی باشد.

مثال‌های دیگری وجود دارند که در آن‌ها خطر مرتبط با لیزرهای طبقه 3Bو طبقه ۴ فقط در وضعیت‌های خاص افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال بررسی وضعیتی که در آن طبقه‌بندی براساس محصولاتی چون لنز موازی‌کننده است که برای چشمه با واگرایی بالا، برای درمان لیزری با سطح پایین به‌کار می‌روند. این محصول ممکن است به‌عنوان طبقه 3Bبراساس عدسی که بر روی آن نصب شده است طبقه‌بندی شود زیرا این عدسی یک خطر بالقوه باریکه موازی‌شده را به وجود می‌آورد. با این حال استفاده بدون تجهیزاتی که بر روی آن نصب شده باشد که در یک باریکه واگرا نتیجه خواهد شد، می‌تواند ایمن باشد. (یعنی هر پرتوگیری چشم که زیر حد MPE باشد.) بنابراین محدوده خطر فقط اطراف لیزری که تجهیزات روی آن نصب شده است وجود دارد.

پ-۳ محدودیت‌های طرح طبقه‌بندی

اگر چه آزمون‌های طبقه‌بندی بیشتر در راه‌های نسبتاً محدود و بدترین حالت هستند، هنوز محدودیت‌هایی وجود دارد که در آن‌ها، در موارد نادر، ممکن است منجر به خطراتی ماوراء خطراتی که مرتبط با طبقه‌های مخصوص هستند شوند. طبقه‌بندی بر اساس سه جزء صورت می‌پذیرد:

الف- حد AEL طبقات مختلف

ب- دستورالعمل‌های اندازه‌گیری برای فاصله اندازه‌گیری، قطر روزنه و زاویه پذیرش برای انعکاس شرایط پرتوگیری بالقوه. این دستورالعمل‌های اندازه‌گیری، برای یک محصول لیزری معین، گسیل قابل دسترسی را تعیین می‌کند که در مقایسه با AEL طبقه را مشخص می‌کند.

پ- شرایط آزمون تحت *AEL* و گسیل قابل دسترس تعیین شده است. این شامل در نظر گرفتن شرایط تک‌اشکال قابل پیش‌بینی منطقیاست. همچنین تعمیر و نگهداری و عملکرد نیاز به تشخیص دارند. استفاده از محصولات و شکل‌های متفاوت محصول که می‌توانند بدون استفاده از ابزار به‌دست آیند نیاز به رسیدگی دارند.

هریک از این سه جزء دارای برخی فرض‌های تضمینی هستند، به‌طوری که در موارد نادر جایی که این فرضیات برآورده نمی‌شوند، خطراتی ماوراء مفهوم معمول طبقه، می‌تواند افزایش یابد. به‌عنوان مثال، *AEL* برای طبقه ۱و 1Mبرای زمان پرتوگیری طولانی بر اساس فرض حرکات چشمی یک چشم بی‌حس نشده[1]است. به هر حال، اگر پرتوگیری درازمدت چشمی در حین فرآیند پزشکی برای چشم بی‌حس شده رخ دهد، پس گسیل لیزر طبقه ۱ و 1M ممکن است منجر به پرتوگیری خطرناک بالقوه‌ای شود. همچنین، دستورالعمل‌های اندازه‌گیری بر اساس فرض‌ها و ارزشیابی‌های همانند پرتوگیری با گونه‌های معتبر ابزار اپتیکی هستند. به‌عنوان مثال باریکه موازی شده با قطر بزرگ، توسط یک تلسکوپ بزرگ که ممکن است حتی برای محصول لیزری طبقه ۱ خطرناک باشد قطع می‌شود. به هر حال، احتمال چنین پرتوگیری چشمی تصادفی به طور معمول در میدان دید کم تلسکوپ خیلی کم است. موقعیت دیگری که ممکن است نیاز به رسیدگی داشته باشد جایی است که یک محصول در شرایطی که نیاز به توصیف برای طبقه‌بندی ندارد اما ممکن است تابش خطرناک قابل دسترس باشد. به‌عنوان مثال، حتی اگر آن توسط سازنده محصول به‌عنوان یک وسیله تولید نشده باشد، یک باریکه واگرا از محصول طبقه 1M یا 2M می‌تواند به یک باریکه موازی شده با فاصله خطر بزرگ توسط اتصال یک لنز به محصول تبدیل شود. با این حال این به‌عنوان تغییر محصول در نظر گرفته شده، و شخص باید با انجام آن تغییر، محصول را مجددا طبقه‌بندی کند.

با این وجود، سازنده باید از محدودیت‌ها آگاه باشد به‌طوری که این امکان وجود دارد که در برگیرنده هشدارها در دفترچه راهنمای کاربر محصول باشد. مثال‌های ویژه از چنین محدودیت‌های بالقوه‌ای در زیر مشخص شده‌اند. (با توجه به اینکه این محدودیت‌ها بالقوه هستند چرا که به نوع محصول، اگر محدودیت‌ها به‌کاربرده شود یا نشود، بستگی دارند.)

- باریکه موازی‌شده با قطر بزرگ محصولات لیزری طبقه ۱، طبقه ۲ یا طبقه 3Rکه با تلسکوپ‌های بزرگ دیده می‌شوند.
- باریکه با واگرایی بالای محصولات لیزری طبقه ۱، طبقه ۲ یا طبقه 3Rکه با ذره‌بین‌ها دیده می‌شوند (به یادآوری ۱ زیربند ۵-۴-۱ و IEC 60825-2رجوع شود).
- دوربین‌های دوچشمی یا تلسکوپ‌ها با بزرگ‌نمایی کمتر از ۷ برابر. در این مورد برای شرط ۱ بزرگ‌نمایی زاویه‌ای چشمه αکه ممکن است به کار برده شود (به زیربند ۴-۳-پرجوع شود.) یا نهایتاً، کاهش زاویه پذیرش (به زیربند ۵-۴-۳-ب رجوع شود.) باید معادل با ضریب بزرگ‌نمایی واقعی یعنی کمتر از ۷ برابر باشد.

1 - Non-Anaesthetised

- باریکه‌های روبشی زمانی که با تلسکوپ دیده می‌شوند.
- مشاهده درون باریکه ای در فواصل بسیار نزدیک از تابش لیزر*UV-A* از محصول لیزری طبقه ۱ می‌تواند *MPE* برای چشم را برای مدت زمان پرتوگیری بیش از s ۱۰۰۰ افزایش دهد.
- شرط دو اشکال که ممکن است محتمل باشد. یعنی اشکالاتی که در آن هر خطا به خودی خود از گسیل قابل دسترس بالاتر از *AEL* نتیجه نخواهد شد، اما هر دو اشکال می‌توانند در یک زمان رخ دهند. هنگامی کهانتظار می‌رود این اشکالات با نسبت بالای احتمال رخ دهند، احتمال برای یک دو اشکال ممکن است به اندازه کافی بالا باشد، به‌طوری که می‌بایست در حین طراحی محصول در نظر گرفته شود.
- در مکان‌هایی که احتمال دارد مردم در معرض باریکه لیزر قرار گیرند،طبقه لیزر ممکن است نشان‌دهنده خطر نباشد. این بررسی، نیاز به در نظر گرفتن *NOHD* به‌خصوص برای باریکه‌های لیزر با واگرایی زیاد دارد.

پ -۴ منابع

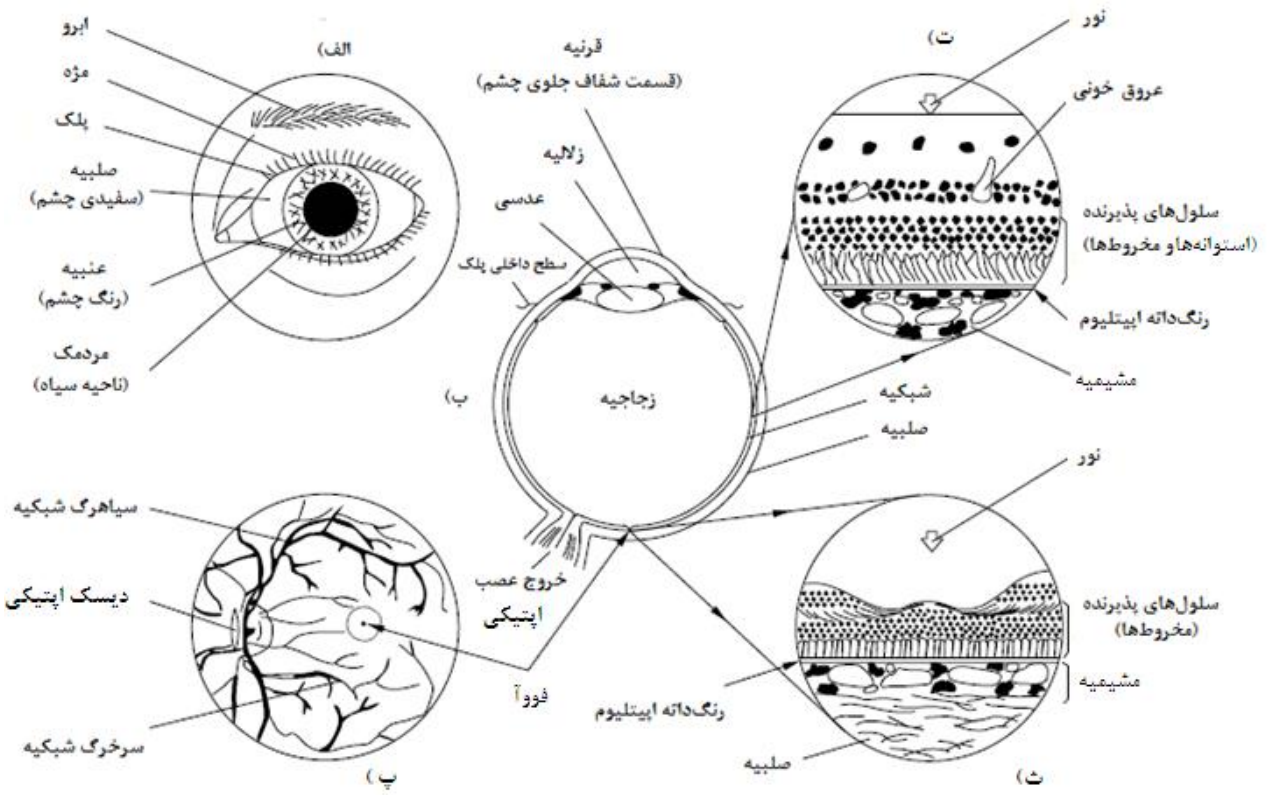
[1] HENDERSON, R. and SCHULMEISTER, K. *Laser Safety*, Taylor and Francis Ltd.,United Kingdom, 2004
[2] SLINEY DH, MARSHALL WJ, BRUMAGE EC. Rationale for laser classificationmeasurement conditions. *J Laser Appl*. 2007; 19(3):197-206
[3] ISO/IEC GUIDE 51:1999, *Safety aspects − Guidelines for their inclusion in standards*

پیوست ت

(اطلاعاتی)
ملاحظات بیوفیزیکی

ت-۱ کالبد شناسی چشم

شکل زیر جزئیات کالبد شناسی چشم انسان را نشان می‌دهد:



شکل ت-۱- کالبد شناسی چشم

در شکل ت-۱، قسمت الف) شکلی از ویژگی‌های خارجی چشم چپ است. فاصله بین پوشش پلک چشم، میدان دید[1] (*FOV*) را تا یک حالت بادامی شکل محدود می‌کند. ویژگی‌های اصلی جلوی چشم برچسب‌گذاری و مشخص شده‌اند.

1-Field-Of-View

قسمت ب)نمای سطح مقطع افقی چشم چپ است. چشم به دو قسمت تقسیم می‌شود، اتاقک قدامی یا جلویی که توسط قرنیه، عنبیه و عدسی احاطه شده است و حفره خلفی یا عقبی چشم که توسط شبکیه احاطه شده است و شامل مایع ژلاتینی زجاجیه است.
قسمت پ) ساختمان داخلی چشم سالم است که با یک افتالموسکوپ مشاهده شده است. این وسیله باریکه‌ای از نور را به داخل مردمک هدایت کرده و درون چشم را روشن می‌کند که در نتیجه اجازه می‌دهد تا آن دیده شود. تصویر مشاهده شده با عنوان عمق چشم یا فونداس معرفی می‌شود. تصویر قرمز رنگ به نظر می‌آید ولی رگ‌های اصلی شبکیه به وضوح دیده می‌شوند. ویژگی برجسته دیگر، دیسک اپتیکی سفید رنگ و فووآاست. فووآ یک فرورفتگی کوچک در سطح شبکیه است که ممکن است رنگین‌تر از اطراف شبکیه باشد و ناحیه‌ای با بیشترین میزان بینایی است. فووآدر مرکز لکه یا ماکولا است، ماکولا مسئول اصلی مشاهده جزئیات است.
قسمت ت) ساختاری از شبکیه، همان‌طورکه در سطح برش یافته قسمت ب دیده شد، اما با بزرگ‌نمایی چند صد برابر بزرگتر از اندازه واقعی است. شبکیه شامل یکسری از لایه‌های سلول‌های عصبی است که بر روی سلول‌های استوانه‌ای و مخروطی حساس به نور قرار می‌گیرد. یعنی نوری که روی سطح شبکیه می‌تابد باید قبل از رسیدن به سلول‌های حساس به نور از لایه‌هایی از سلول‌های عصبی بگذرد. در زیر لایه سلول‌های مخروطی و استوانه‌ای، لایه‌ای است به نام رنگدانه اپیتلیوم که شامل رنگدانه سیاه مایل به قهوه‌ای رنگی به نام ملانین است و زیر این لایه، لایه‌ای از مویرگ‌های خونی ریز مشیمیه قرار دارد. لایه جاذب نهایی مشیمیه است که شامل سلول‌های رنگدانه‌ای[1] و رگ‌های خونی است.
قسمتث) ساختاری است از ناحیه لکه زرد که تا چند صد برابر بزرگ شده است. اینجا فقط مخروط‌ها وجود دارند. سلول‌های عصبی به‌صورت شعاعی از این ناحیه با بینایی دقیق‌تر جایگزین می‌شوند. رنگدانه ماکولار در محدوده ۴۰۰ nm تا ۵۰۰ nm جذب قوی دارد، که در لایه فیبری هنله قرار دارد.

ت-۲ اثرات تابش لیزر روی بافت زیستی

ت-۲-۱ کلیات

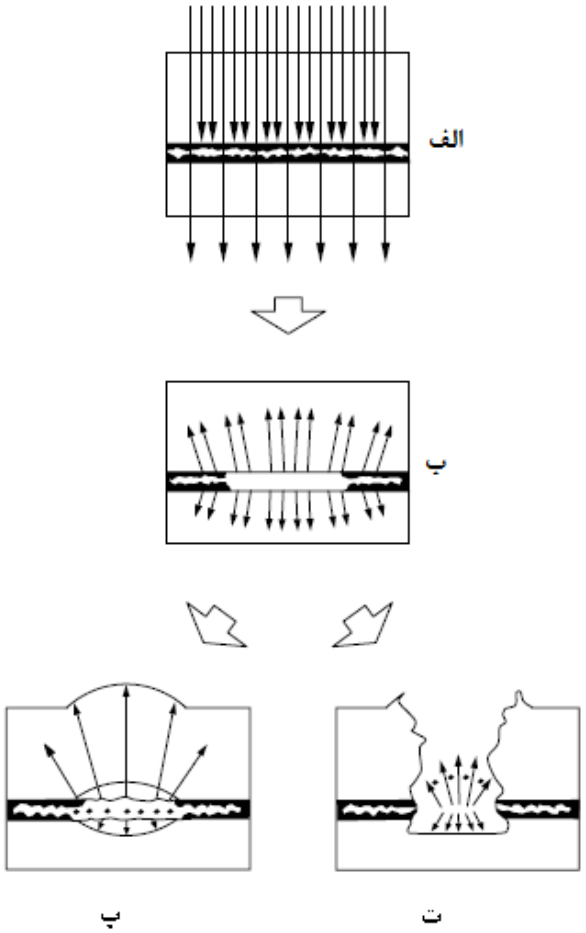
سازوکاری که در آن تابش لیزر باعث آسیب می‌شود، شبیه تمام سامانه‌های زیستی است و ممکن است شامل واکنش‌های گرمایی، گرما صوتی، فرآیندهای فوتو شیمیایی و اثرات غیرخطی باشند. درجه‌ای که هر یک از این سازوکارها در آن مسئول ایجاد آسیب هستند ممکن است به برخی پارامترهای فیزیکی چشمه تابشی که مهمترین آن‌ها عبارتند از طول‌موج، مدت زمان تپ، اندازه تصویر، تابندگی و چگالی انرژی بستگی داشته باشد.
به‌طور کلی در پرتوگیری بالای حد آستانه، سازوکار غالب به‌طور وسیعی به مدت زمان تپ پرتوگیری بستگی دارد. بنابراین، به ترتیب افزایش مدت زمان تپ، اثرات غالب در زمان‌های ذکر شده به قرار زیر است :

- پرتوگیری‌های نانوثانیه و زیر نانوثانیه، حفره‌های کوچک، گذارهای صوتی و اثرات غیرخطی؛

1 -Pigmented Cells

- از ۱۰۰ µs تا چند ثانیه، اثرات گرمایی و
- بیش از ۱۰ s، اثرات فوتو شیمیایی.

تابش لیزر نسبت به دیگر انواع شناخته شده تابش، با موازی بودن باریکه آن مشخص شده است. این امر، همراه با مقدار انرژی بالای اولیه، منجر به انتقال انرژی زیادی به بافت‌های زیستی می‌شود. پیشامد اولیه‌ای که هر نوع تابش لیزر روی آسیب سامانه زیستی می‌گذارد، جذب تابش اپتیکی توسط آن سامانه است. جذب در یک تراز اتمی یا ملکولی رخ می‌دهد و فرآیندی وابسته به طول موج است. بنابراین این طول‌موج است که تعیین می‌کند کدام بافت با یک باریکه لیزر خاص آسیب می‌بیند.



الف- انرژی لیزر توسط سامانه جذب می‌شود،

ب- انرژی جذب شده گرمایی ایجاد می‌کند که به بافت‌های اطراف هدایت می‌شوند،

پ- در لیزرهایی با تپ‌های بلند یا موج پیوسته، تداوم جبهه گرمایی یک آسیب به تدریج بزرگ شده را افزایش می‌دهد.

ت- در لیزرهای با تپ کوتاه، چگالی توان بالا، از هم گسیختگی انفجاری سلول‌ها و آسیب را توسط جابجایی فیزیکی افزایش می‌دهد.

شکل ت-۲ صدمه ناشی از لیزر در سامانه‌های زیستی

اثراتگرمایی- زمانی که انرژی تابشی کافی توسط سیستم جذب شد، مولکول‌های اجزاء آن ارتعاشات افزایشی را تجربه می‌کنند و این افزایشی در قسمت گرمایی می باشد. اغلب آسیب‌های ناشی از لیزر به علت گرمای بافت یا بافت‌های جاذب است. این آسیب گرمایی معمولاً منحصر به سطح محدودی است که به اطراف لبه‌های جذب انرژی لیزری گسترده شده است و در مرکز باریکه تابشی قرار دارد. سلول‌های موجود در این محدوده مشخصات سوختگی را نشان می‌دهند و صدمه دیدن بافت در وهله اول از واسرشتن پروتئین نتیجه می‌شود. همان‌طورکه در بالا اشاره شد، وقوع سازوکارهای بعدی آسیب ناشی از برخورد لیزر می‌تواند به زمان واکنش گرمایی بافت که مستقیماً به مدت زمان تپ لیزر (شکل ت-۲) و دوره خنک‌سازی بستگی دارد مرتبط باشد. واکنش‌های گرماشیمیایی در حین هر دو دوره خنک‌سازی و گرمادهی رخ می‌دهد که افزایش اندازه لکه لیزر را بسته به آسیب گرمایی موجب می‌شود. اگر یک لیزر موج پیوسته یا تپ طولانی مستقیماً به بافتی تابانیده شود، به سبب رسانایی، منطقه‌ای از بافت زیستی که افزایش دما را تجربه می‌کند همواره افزایش می‌یابد. انتشار این جبهه گرمایی موجب افزایش محدوده آسیب با بالا رفتن دمای تعداد بیشتری از سلول‌ها، بیشتر از حد تحمل آنها می‌شود. اندازه تصویر باریکه نیز از اهمیت خاصی برخوردار است، چون درجه انتشار محیطی ناشی از هدایت، علاوه بر دما تابعی از منطقه اولیه بافت گرما دیده است. این نوع آسیب گرمایی به‌طور متداول در پرتوگیری لیزرهای با موج پیوسته یا تپ‌های طولانی صورت می‌گیرد، اما با تپ‌های کوتاه نیز رخ می‌دهد. برای اندازه لکه-های تابشی در مرتبه ۱ mm تا ۲ mm یا کمتر، شار گرمایی شعاعی منجر به ایجاد یک اندازه لکه وابسته به آسیب می‌شود.

اثرات فوتوشیمیایی- از طرف دیگر، اثرات آسیب می‌تواند نتیجه مستقیم فرآیند فوتوشیمیایی باشد. این فرآیند با جذب مقدار معینی انرژی نور ایجاد می‌شود. ممکن است به‌جای آزاد کردن انرژی، نمونه‌ها تحت یک واکنش شیمیایی منحصر به‌فرد، به حالت برانگیخته خود بروند. به نظر می‌رسد که این واکنش فوتوشیمیایی مسئول آسیب‌رسانی در ترازهای پایین پرتوگیری باشد. اغلب بافت‌های زیستی همچون پوست، عدسی چشم و به ویژه شبکیه ممکن است توسط این سازوکار تغییرات غیر قابل برگشت ناشی از پرتوگیری طولانی‌مدت تا تراز میانگینی از تابش فرابنفش و نور با طول موج کوتاه را نشان دهند. اگر مدت زمان تابش افزایش یابد یا پرتوگیری کوتاه‌تر در دوره‌های طولانی‌تر تکرار شوند، چنین تغییرات القایی فوتوشیمیایی ممکن است موجب آسیب یک سامانه شوند. اغلب واکنش‌های فوتوشیمیایی که به‌وسیله پرتوگیری لیزری فعال شده‌اند ممکن است غیرطبیعی یا ناشی از گسترش فرآیندهای طبیعی باشند. واکنش‌های فوتوشیمیایی به‌طور معمول از قانون بنزن‌روسکو برای مدت زمانی ۱ ساعت تا ۳ ساعت یا کمتر تبعیت می‌کنند (جایی که سازوکار تعمیر نمی‌تواند با نرخ آسیب مقابله کند)، آستانه به‌عنوان چگالی انرژی در بیش از گستره مدت زمان پرتوگیری ثابت است. وابستگی به اندازه لکه با اثرات گرمایی ناشی از انتشار گرما وجود ندارد.

اثرات غیر خطی- لیزرهایی با تپ‌های کوتاه و قله توان بالا (یعنیسوئیچ Qو قفل‌شدگی مد) ممکن است با ترکیب متفاوتی از سازوکارهای القایی به بافت آسیب برسانند. انرژی در مدت زمان بسیار کوتاهی به بافت زیستی رسیده و از این رو تابندگی بالایی را ایجاد می‌کند. بافت‌هایی که به‌عنوان هدف قرار گرفته‌اند چنان افزایش دمای سریعی را تجربه می‌کنند که اجزاء مایع سلول‌ها را به گاز تبدیل می‌کنند. در اکثر موارد این تغییرات فاز چنان سریع و انفجاری است که باعث از هم گسستن سلول‌ها می‌شوند. گذارهای فشار ممکن است از انبساط گرمایی نتیجه شده و هر دو ممکن است منجر به ایجاد آسیب برشی به بافت‌های دور از لایه‌های جذبی توسط تغییر مکان فیزیکی توده شود. در پرتوگیری‌های زیرنانو ثانیه‌ای، تمرکز خود محیط چشم،بیشتر انرژی لیزر را از یک باریکه موازی‌شده متمرکز کرده و بیشتر آستانه را بین تقریباًps ۱۰ و ns ۱ کاهش می‌دهد. علاوه بر این به نظر می‌رسد که دیگر سازوکارهای اپتیکی غیرخطی نقشی را در آسیب شبکیه‌ای در محدوده زیر نانو ثانیه‌ای بازی می‌کنند.

درکلیه سازوکارهای آسیب‌رسانی که در بالا ذکر شد، اثر بر روی شبکیه نشان داده شده است که در نقاط شکست یا تغییرات شیب در ترازهای پرتوگیری ایمن توصیف‌شده در این استاندارد منعکس می‌شوند.

ت-۲-۲ خطرات برای چشم

توضیح مختصری از تشریح و کالبدشناسی چشم در بند ت-۱ ارائه شده است. چشم به‌طور خاص برای دریافت و تبدیل تابش اپتیکی انطباق پیدا کرده است. آسیب‌های ناشی از پرتوگیری زیاد در جدول ت-۱ خلاصه شده است. سازوکار برهم‌کنش گرمایی در شکل ت-۲ نشان داده شده است. لیزرهایی که تابش فرابنفش و فروسرخ دور را گسیل می‌کنند برای قرنیه ایجاد خطر می‌کنند در حالیکه سامانه‌های گسیل‌کننده طول موج‌های مرئی و فروسرخ نزدیک، به شبکیه منتقل می‌شوند.

باریکه‌های لیزری مرئی و فروسرخ نزدیک، خطر خاصی برای چشم دارند، زیرا که چشم مبدل خوبی برای نور بوده و در صورت اصابت چنین لیزرهایی، چگالی توان بالایی در بافت‌های رنگدانه‌ای به وجود می‌آید . افزایش چگالی شار تابشی از قرنیه تا شبکیه تقریباً با نسبت مساحت سطح مردمک به تصویر در شبکیه برابر است. این افزایش به‌علت آن است که نوری که از مردمک می‌گذرد روی یک نقطه بر روی شبکیه کانونی می‌شود. مردمک یک روزنه متغیر است اما قطر آن ممکن است در چشم جوان هنگامی که به بیشینه بازشدگی رسیده است به بزرگی mm ۷ باشد. تصویر شبکیه مربوط به چنین مردمکی ممکن است با قطری بین µm ۱۰ تا µm ۲۰ باشد. با در نظر گرفتن پراکندگی درون چشمی و ابیراهی‌های قرنیه، افزایش چگالی شار تابشی بین قرنیه تاشبکیه در مرتبه ۲×۱۰^{۵} است.

جدول ت-۱ خلاصه ای از اثرات آسیب‌شناسی مرتبط با پرتوگیری نوری زیاد

گستره طیفی CIE[a]	چشم	پوست
فرابنفش C (۱۸۰nm تا ۲۸۰nm)	فوتوکراتیت	اریتما (آفتاب سوختگی) تسریع فرایند پیر شدن پوست افزایش رنگدانه
فرابنفش B (۲۸۰nmتا۳۱۵nm)		
فرابنفش A (۳۱۵nmتا۴۰۰nm)	آب‌مروارید فوتوشیمیایی	تیره‌سازی رنگدانه واکنش‌های حساس به نور سوختگی پوست
مرئی (۴۰۰nmتا۷۸۰nm)	آسیب گرمایی و فوتوشیمیایی شبکیه	
فروسرخ A (۷۸۰nmتا۱۴۰۰nm)	آب‌مروارید، سوختگی شبکیه	سوختگی پوست
فروسرخ B (۱٫۴μmتا۳٫۰μm)	آب‌مروارید، سوختگی قرنیه	
فروسرخ C (۳٫۰μmتا۱ mm)	فقط سوختگی قرنیه	

[a] گستره‌های طیفی تعیین‌شده توسط CIE به‌طور خلاصه در توصیف اثرات بیولوژیکی مفید هستند و ممکن نیست کاملاً با نقاط شکست طیفی در جدول‌های *MPE* الف-۱ تا الف-۳ مطابق باشند.

اگر یک افزایش از مرتبه ۲×۱۰^{۵} فرض شود، یک باریکه $۵۰\ W.m^{-2}$ روی قرنیه معادل $۱\times۱۰^{۷}W.m^{-2}$ روی شبکیه می‌شود. در این استاندارد یک مردمک ۷ mm به‌عنوان روزنه محدودکننده در نظر گرفته شده است، چون این بدترین حالت است و از اعداد حاصل شده از چشم جوان، جایی که قطرهای مردمک این مرتبه اندازه‌گیری شده به‌دست آمده است. یک استثناء در فرض یک مردمک ۷ mm در نتایج استخراجی از حدود پرتوگیری برای محافظت در برابر مشکلات نوری شبکیه‌ای به‌کاربرده می‌شود، در حالی که مشاهده چشمه‌های لیزر نور مرئی (۴۰۰nm تا ۷۰۰ nm) برای دوره زمانی بیش از ۱۰ s به‌کار می‌رود. در این حالت اخیر، مردمک ۳ mm به‌عنوان بدترین حالت فرض می‌شود؛ با این حال، هنوز یک روزنه میانگین چگالی شار تابشی ۷ mm برای اندازه‌گیری در حین فعالیت‌های فیزیولوژیکی مردمک در فضا مناسب در نظر گرفته می‌شود. از این رو حدود *AEL*برای مدت زمان‌های بیشتر از ۱۰ s نیز برای روزنه‌های ۷ mm استنتاج می‌شود.

اگر یک باریکه شدید نور لیزر روی شبکیه متمرکز شده باشد، فقط یک کسر کوچک نوری (تا ۵ ٪) توسط رنگدانه‌های بینایی در استوانه‌ها و مخروط‌ها جذب خواهد شد. بیشتر نور به وسیله رنگدانه‌ی موسوم به ملانین

موجود در رنگدانه اپیتلیوم جذب خواهد شد. (در رنگ‌دانه زرد ماکولار) انرژی جذب‌شده موجب گرم شدن موضعی خواهد شد و هر دو رنگ دانه اپیتلیوم و استوانه‌ها و مخروط‌های حساس به نور مجاور را خواهد سوزاند. این سوختگی و زخم ممکن است موجب از دست رفتن بینایی شود. همچنین آسیب‌های فوتوشیمیایی، غیرگرمایی، در رنگدانه اپیتلیوم قرار می‌گیرند.

براساس اندازه پرتوگیری، چنین از دست رفتن بینایی ممکن است مداوم باشد یا نباشد. به‌طور معمول افت بینایی توسط فردی که تحت پرتوگیری قرار گرفته، تنها هنگامی که ناحیه مرکزی یا لکه زرد ماکولا را در بر می‌گیرد، مورد توجه قرار خواهد گرفت. لکه زرد، حفره‌ای در مرکز ماکولار، مهم‌ترین قسمت شبکیه است زیرا مسئول بینایی دقیق‌تر بوده و قسمتی از شبکیه است که در «مستقیماًخیره شدن به چیزی» استفاده می‌شود. زاویه دیدی که توسط لکه زرد در برگرفته شده است تقریباً با زاویه در برگرفته شده توسط ماه برابر است. اگر این ناحیه آسیب دیده باشد، در ابتدا ممکن است افت به شکل لکه سفید محوی ظاهر شود که ناحیه مرکز بینایی را تار کند و طی دو هفته یا بیشتر ممکن است به شکل یک لکه سیاه در آید. در نهایت فرد آسیب دیده ممکن است طی دید نرمال، این نقطه کور (اسکوتوما) را ببیند. این آسیب می‌تواند با یک نگاه آنی به صفحه خالی مثل یک صفحه سفید تشخیص داده شود. آسیب‌های جانبی تنها زمانی که آسیب شبکیه‌ای زیادی اتفاق می‌افتد، تشخیص داده می‌شوند. از آسیب‌های پیرامونی کوچک بدون توجه گذر شده و حتی حین معاینات اصولی چشم تشخیص داده نمی‌شوند.

در گستره طول موجی از ۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm، بیشترین خطر، آسیب شبکیه است. قرنیه، زلالیه، عدسی و زجاجیه این طول موج‌ها را به‌خوبی عبور می‌دهند. در مورد یک باریکه کاملاً موازی‌شده، خطر تقریباً مستقل از فاصله بین چشمه تابش و چشم است، زیرا که تصویر شبکیه‌ای لکه محدود پراشی تقریباً۱۰μm تا ۲۰ μm است. در این مورد، با فرض تعادل گرمایی، ناحیه شبکیه‌ای خطر توسط زاویه محدودکننده α_{min} که معمولاً به لکه شبکیه‌ای با قطر تقریباً۲۵ μm مربوط است، معین‌می‌شود.

در مورد یک چشمه گسترده، خطر با فاصله بین چشمه و چشم تغییر می‌کند زیرا چگالی شار تابشی شبکیه‌ای آنی تنها به تابندگی چشمه و مشخصات عدسی چشم بستگی دارد، پخش گرمایی انرژی از تصاویر بزرگ‌تر شبکیه‌ای کمتر موثر است و به لکه شبکیه‌ای با اندازه‌ای وابسته به آسیب گرمایی که در آن وابستگی به آسیب فوتوشیمیایی وجود ندارد منجر می‌شود. (تنها در محدوده طیفی ۴۰۰ nm تا ۶۰۰ nm) به‌علاوه فعالیت‌های چشمی بیشتر، انرژی جذب‌شده را برای پرتوگیری‌های لیزر پیوسته که منجر به وابستگی‌های مختلف خطر به اندازه‌های متفاوت تصویر شبکیه‌ای می‌شود گسترش می‌دهد.

در نتیجه‌گیری از محدودیت‌ها برای پرتوگیری چشمی در ناحیه خطر شبکیه‌ای، ضرایب تصحیح برای فعالیت‌های چشم تنها برای افزایش مدت زمان مشاهده ۱۰ s به‌کار می‌روند. حرکات فیزیولوژیکی چشم که به اسم «ساکاد» شناخته می‌شود، موجب گسترش انرژی جذب‌شده در تصاویر شبکیه‌ای کوچک (در مرتبه ۲۵ μm یا کمتر) در زمان‌های ۰٫۱ تا ۱۰ s می‌شود. محدودیت‌ها یک ضریب ایمنی اضافی طراحی‌شده برای این

حالت مشاهده را ایجاد می‌کنند. در ۰٫۲۵ s لکه میانگین شبکیه‌ای تقریباً ۵۰ µm روشن شده است. در ۱۰ s ناحیه شبکیه‌ای روشن شده تقریباً ۷۵ µm می‌شود و ضریب ایمنی اضافی برای حالت کمینه تصویر ۱٫۷ بیش از یک چشم ثابت با اندازه لکه وابسته به مقدار به‌دست آمده است. در ۱۰۰ s دست یافتن به یک ناحیه روشن شده (اندازه‌گیری‌شده در ۵۰ ٪ نقاط) با اندازه ۱۳۵ µm موجب یک ضریب ایمنی اضافی از مرتبه ۲٫۳ یا بیشتر برای حالت کمینه تصویر می‌شود.

داده‌های مطالعات حرکات چشمی و آسیبگرمایی شبکیه‌ای برای به‌دست‌آوردن یک نقطه انفصال زمانی مشاهده T_2 در حرکات چشمی، برای خطری که به‌صورت تئوری افزایش یافته، برای مدت زمان‌هایافزایش یافته پرتوگیری شبکیه‌ای در حالتی که چشم بی حرکت مانده باشد ترکیب می‌شوند. چون آستانه آسیب گرماییبیان‌شده به‌عنوان توان تابشی ورودی چشم، مدت زمان پرتوگیری t افزایش یافته تا توان ۰٫۲۵- را کاهش می‌دهد (یعنی کاهش تنها ۴۴٪ از هر ده برابر افزایش در مدت زمان)، فقط افزایش‌های محدودی در ناحیه شبکیه‌ای در معرض قرار گرفته برای خطر افزایش یافته در زمان‌های مشاهده طولانی‌تر را جبران خواهد کرد. افزایش ناحیه شبکیه‌ای تابش ناشی از تحرکات بیشتر چشم با افزایش زمان مشاهده، طول می‌کشد تا اثر کاهشی پخش گرمایی در چشمه‌های گسترده‌تر را جبران کند. بنابراین برای افزایش حد زاویه‌ای αنقطه انفصالT_2، از ۱۰ s برای چشمه‌های کوچک تا ۱۰۰ s برای چشمه‌های بزرگتر افزایش می‌یابد. بعد از ۱۰۰ s افزایش بیشتری در خطر آسیب گرمایی برای تصاویری با اندازه‌های کوچک و میانگین وجود ندارد. ویژگی‌های محدودیت‌ها و شرایط اندازه‌گیری قصد دارند از این متغیرها با برخی ساده‌سازی‌ها که منجر به یک تعیین پایستار خطر می‌شوند تبعیت کنند. به‌طور پایستار فرض شده است که آستانه‌های آسیب گرمایی شبکیه کاملاً معکوس با اندازه تصویر شبکیه (ثابت شده) تقریباً بین ۲۵ µm تا ۱ mm (مربوط به اندازه‌های زاویه‌ای ۱٫۵mrad تا ۵۹ mrad) است، در حالی که بیشتر از ۱٫۷ mm (مربوط به اندازه‌های زویه‌ای بزرگتر از ۱۰۰ mrad) وابستگی به اندازه لکه وجود ندارد. حدودT_2و چگالی شار تابش وتوان ثابت پس از آن، اثر حرکات چشمی و جریان خون را با توجه به وابستگی زمانی حدود همانند کاهش وابستگی آستانه آسیب برای مدت زمان‌های پرتوگیری طولانی، بر می‌گرداند. این برای ابزار چشم پزشکی به‌کار نمی‌رود؛به استاندارد-ISO 15004 2مراجعهکنید.

برای آسیب شبکیه ایجاد شده به‌صورت فوتوشیمیایی، وابستگی به اندازه لکه برای تصویر ثابت شده وجود ندارد. برخلاف سازوکار آسیب گرمایی، آستانه‌ها برای آسیب فوتوشیمیایی کاملاً به طول‌موج و دوز پرتوگیری وابسته هستند، یعنی آستانه‌ها به‌طور معکوس با طولانی کردن مدت زمان پرتوگیری کاهش می‌یابند. بررسی‌های آسیب فوتوشیمیایی شبکیه حاصل از قوس‌های جوشکاری زاویه‌های محدودشده در اندازه ۱ mrad تا ۱٫۵ mrad نشان داده که اندازه آسیب در مرتبه ۱۸۵ µm تا ۲۰۰ µm (مربوط به زاویه‌های دید ۱۱ mrad تا ۱۲ mrad) به‌طور واضح تاثیر حرکات چشم در حین خیره شدن را نشان می‌دهد؛ این بررسی و بررسی‌های دیگر حرکات چشمحین خیره شدن منجر به نتیجه‌گیری *MPE*ها برای حفاظت در برابر آسیب فوتوشیمیایی شبکیه می‌شود.

همچنین این بررسی‌ها منجربه تعیین شدن چگالی شار تابشی *MPE*، همان‌طورکه بیش از ۱۱ mrad برای مدت زمان‌های پرتوگیری مابین ۱۰ s و ۱۰۰ s میانگین‌گیریشده است،می‌شود. از این رو، چشمه‌ها با یک حد زاویه‌ای α کمتر از ۱۱ mrad برابر با چشمه‌های نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شوند و مفهوم α_{min} به مشاهده لیـزر موج پیوسته بسط داده می‌شود. این تقریب خیلی صحیح نبود، چون یک چگالی شار تابشی اندازه‌گیری‌شده از یک چشمه ۱۱ mrad با چگالی شار تابشی میانگین‌گیری‌شده بیش از میدان دید (γ) ۱۱ mrad برابر نیست مگر این‌که چشمه، توزیع تابندگی مستطیلی (کلاه استوانه‌ای) داشته باشد. بنابراین، در این ویرایش از استاندارد، تمایزی میان حد زاویه‌ای یک چشمه و چگالی شار تابشی میانگین‌گیری‌شده برای مقادیر *MPE*، ایجاد شده است. برای مشاهده زمان‌های اضافه شده بین ۳۰ s تا ۶۰ s، حرکت ساکادی چشم حین خیره شدن، معمولاً توسط حرکات رفتاری تعیین شده توسط کار دید انجام می‌شود و کاملاً غیرمعقول است که فرض کنیم یک چشمه نوری به تنهایی در فووآ برای مدت زمان‌های بزرگتـر از ۱۰۰ s تصویر می‌شود. برای این استدلال، زاویه پذیرش γ_{ph}به‌طور خطی با ریشه مربعی t افزایش می‌یابد. حد زاویه‌ای کمینه α_{min}به‌طور صحیح در زاویه مرجع ۱٫۵ mrad برای تمامی مدت زمان‌های پرتوگیری مورد استفاده در ارزشیابی خطر گرمایی شبکیه باقی می‌ماند. با این حال برای ارزیابی خطر فوتوشیمیایی شبکیه، مفهوم واقعاً متفاوت است، چون زاویه γ_{ph}یک زاویه خطی پذیرش برای اندازه‌گیری چگالی شار تابشی است و این مهم است که فقط برای چشمه‌های گسترده بزرگتر از تقریباًmrad ۱۱ به‌کار رود.

فاصله دید- در مورد نوع نقطه‌ای، چشمه با باریکه واگرا، خطر با کاهش فاصله بین کمر باریکه و چشم افزایش می‌یابد. دلیل آن این است که با کاهش فاصله، توان جمع شده افزایش می‌یابد، در حالی که اندازه تصویر شبکیه می‌تواند طوری فرض شود که تقریباً با پراش محدود برای چشمه لیزر واقعی که در فاصله‌ای به نزدیکی mm ۱۰۰ واقع شده باقی بماند. (ناشی از توانایی تطابق چشم) بیشترین خطر در کمترین فاصله تطابق رخ می‌دهد. با کاهش بیشتر فاصله، خطر چشم حفاظت نشده نیز کاهش می‌یابد، چون رشد سریعی از تصویر شبکیه و یک کاهش متناظر چگالی شار تابشی وجود دارد، حتی اگر امکان جمع شدن توان بیشتری وجود داشته باشد. برای شبیه‌سازی خطر مشاهده حفاظت شده اپتیکی باریکه موازی‌شده با دوربین دو چشمی یا یک تلسکوپ، نزدیکترین فاصله m ۲ با یک روزنه ۵۰mm براساس نزدیکترین فاصله برای مشاهده تمیز فرض شده است.
برای اهداف این استاندارد، کمترین فاصله تطابق چشم انسان mm ۱۰۰ در تمامی طول‌موج‌ها از nm ۴۰۰ تا nm ۱۴۰۰تنظیم می‌شود. این به‌عنوان یک توافق انتخاب شده است، زیراکه تقریباً تعداد کمی از جوانان و تعداد خیلی کمی از نزدیک‌بین‌ها نمی‌توانند چشم‌های خود را با فواصل کمتر از mm ۱۰۰ وفق دهند. این فاصله ممکن است برای اندازه‌گیری چگالی شار تابشی در مورد مشاهده درون باریکه‌ای استفاده شود. (جدول۱۰ را مشاهده کنید.)

برای طول موج‌های کمتر از ۴۰۰ nm یا بیشتر از ۱۴۰۰ nm، بیشترین خطر، آسیب رساندن به عدسی یا قرنیه است. بسته به طول موج، تابش اپتیکی به‌طور منحصر به فرد و عالی توسط قرنیه یا عدسی جذب شده است. (به جدول ت-۱ رجوع شود.) برای چشمه‌های با باریکه واگرای (گسترده یا نقطه‌ای) این طول موج‌ها، باید از فواصل کوتاه بین چشمه و چشم جلوگیری شود.

در گستره طول موجی ۱۵۰۰ nm تا ۲۶۰۰ nm، تابش درون زلالیه نفوذ می‌کند. اثر گرمایی در حجم بزرگتری از چشم پراکنده شده و*MPE*ها برای پرتوگیری‌های کمتر از ۱۰ s افزایش می‌یابند. بیشترین افزایش در *MPE*ها برای مدت زمان‌های تپ خیلی کوتاه و در گستره طول موجی ۱۵۰۰ nm تا ۱۸۰۰ nm است جایی که در آن میزان جذب بیشترین است. در زمان‌های بزرگتر از ۱۰s هدایت گرمایی مجدداً انرژی گرمایی را به‌طوری‌که اثر عمق نفوذ آن‌قدر قابل توجه نباشد، توزیع می‌کند.

ت-۲-۳ خطرات پوستی

در حالت کلی، پوست می‌تواند مقدار بیشتری پرتوگیری انرژی باریکه لیزر را نسبت به چشم تحمل کند. اثر بیولوژیکی پرتودهی پوست توسط لیزرهایی که در گستره طیفی مرئی (۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm) و فروسرخ (بزرگتر از ۷۰۰ nm) عمل می‌کنند ممکن است از یک اریتمای هموار و نرم به تاول‌های سخت تغییر کند. یک حالت زغالی شدن خاکستری رنگ در بافت سطح بالایی جذب تحت پرتوگیری با تپ خیلی کوتاه، لیزرهایی با قله توان بالا رایج است. این ممکن نیست توسط اریتما صورت گیرد.

تجمع رنگدانه‌ها در بافت‌ها، ایجاد زخم و زخمی شدن پوست و آسیب رساندن به اندام‌های درونی ممکن است از تابندگی‌های به‌شدت زیاد رخ دهد. اثرات پنهان وتوده‌ای ناشی از تابش لیزر رایج نیستند. با این حال اغلب تحقیقات محدود به این اشاره دارند که تحت شرایط خاص، مناطق کوچکی از بافت انسانی ممکن است توسط تکرار پرتوگیری‌های موضعی حساس شده باشند با این نتیجه که تراز پرتوگیری برای واکنش کمینه تغییر کرده و واکنش‌ها در بافت‌ها برای چنین پرتوگیری‌هایی با تراز پایین، سخت‌تر هستند.

در گستره طول موجی ۱۵۰۰nm تا ۲۶۰۰ nm، بررسی‌های آستانه بیولوژیکی نشان می‌دهند که خطر آسیب رسیدن به پوست از یک الگوی مشابه الگوی مربوط به چشم تبعیت می‌کند. برای پرتوگیری‌های بیشتر از ۱۰ s، *MPE*در این گستره طیفی افزایش یافته است.

ت-۳ میانگین‌گیری *MPE*ها و چگالی شار تابشی

در این استاندارد مقادیر بیشینه پرتوگیری مجاز توصیه‌شده توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر تابش غیریونساز (ICNIRP)، تصویب شده است. روزنه‌های چگالی شار تابشی میانگین‌گیری‌شده (روزنه‌های اندازه‌گیری) توصیه‌شده توسط ICNIRP به تصویب رسیده است، یا یک ضریب ایمنی اضافی توسط IEC TC76 به‌کار رفته است. هرچند به‌طور معمول تعیین *AEL*ها براساس *MPE*ها است، بااین‌حال تجزیه و تحلیل خطر و

تعیین شرایط پرتوگیری قابل پیش‌بینی، ضروری است. انتخاب روزنه اندازه‌گیری در استنتاج *AEL*ها نقش داردو هر دو عامل بیوفیزیکی و فیزیولوژیکی را منعکس می‌کند. در برخی موارد، ملاحظات ارزیابی ریسک و ساده کردن بیان نقش دارد. جدول ت-۲ خلاصه‌ای از عوامل فرض‌شده در انتخاب روزنه‌های اندازه‌گیری را ارائه می‌دهد. در حالت کلی، توصیه‌های ICNIRP مد نظر قرار گرفته یا ضرایب ایمنی اضافی به‌کار برده شده‌اند.

جدول ت-۲- توضیح روزنه‌های اندازه‌گیری به‌کاربرده شده برای *MPE*ها

باند طیفی λ nm	مدت زمان پرتوگیری t	قطر روزنه mm	دیدگاه‌ها ودلایل منطقی برای قطر روزنه
۱۸۰ تا ۴۰۰	$t<۳\times۱۰^{۴}$ s	۱mm	پخش در اپیتلیوم قرنیه و در استراتم کرنیوم منجر به ۱mm می‌شود، فرض هیچ حرکتی از بافت در معرض قرار گرفته برای شرایط پرتوگیری پیوسته توسط IECبه‌کار گرفته می‌شود. به هرحال ICNIRP ۳٫۵ میلی‌متری را برای پرتوگیری طولانی مدت ناشی از حرکات چشم توصیه می‌کند.
۴۰۰ تا ۶۰۰ فوتوشیمیایی	$t>۱۰$ s	۳ میلی‌متر در استنتاج از *MPE*، اما ۷mm استفاده شده برای اندازه‌گیری	حرکت جانبی ۳mm قطر مردمک در فضا، برای تولید روزنه ۷mm به‌طور متوسط برای پرتوگیری‌های قابل کاربرد موج پیوسته برای مکانیزم آسیب فوتوشیمیایی
۴۰۰ تا ۱۴۰۰ گرمایی	تمام t	۷mm	قطر مردمک بزرگ شده و حرکت جانبی در پرتوگیری موج پیوسته
$۱۰^{۵}>\lambda\geq۱۴۰۰$	$t<۰٫۳۵$s	۱mm	پخش گرمایی در بافت‌های استراتم کرنیوم و اپیتلیال
	$۰٫۳۵$s$<t<۱۰$s $t>۱۰$s	$۱٫۵\times t^{۳/۸}$mm ۳٫۵mm	پخش گرمایی بیشتر و حرکت بافت هدف نسبت به باریکه پس از ۰٫۳۵ s
$۱۰^{۵}\leq\lambda\leq۱۰^{۶}$	تمام t	۱۱mm	روزنه بزرگتر از حد پراش (یعنی تقریباً ۱۰ برابر) برای اندازه‌گیری دقیق باشد.

ت-۴- مدارک مرجع

[1] HENDERSON, R. and SCHULMEISTER, K.: Laser Safety, Institute of Physics Publishing, Bristol, 2003

[2] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): Guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 180 nm and 1,000 μm. Health Phys. 71(5): 804-819, 1996.

[3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): Revision of guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 400 nm and 1,4 μm. Health Phys. 79(4):431-440, 2000.

[4] NESS, J., ZWICK, H.A., STUCK, B.A., LUND, D.J., MOLCHANY, J.A. and SLINEY, D.H.: Retinal image motion during deliberate fixation: implications to laser safety for long duration viewing. Health Phys. 78(2):131-142.

[5] ROACH, W.P., JOHNSON, P.E. and ROCKWELL, B.A.: Proposed maximum permissible exposure limits for ultrashort laser pulses, Health Phys. 76(4):349-354.

6 SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L.: Safety with Lasers and Other Optical Sources, New York, Plenum Publishing Corp., 1980.

[7] SLINEY, D., ARON-ROSA, D., DELORI, F., et al: Adjustment of guidance for exposure of the eye to optical radiation from ocular instruments: statement of a task group of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Applied Optics, 44(11), 2162-2176, 2005

[8] United Nations Environment Programme (UNEP); World Health Organization (WHO); International Radiation Protection Association (IRPA): Environmental Health Criteria No. 23: Lasers and Optical Radiation, Geneva, WHO, 1982.

پیوست ث
(اطلاعاتی)
مقادیر *MPE* و *AEL* بیان‌شده به‌عنوان تابندگی

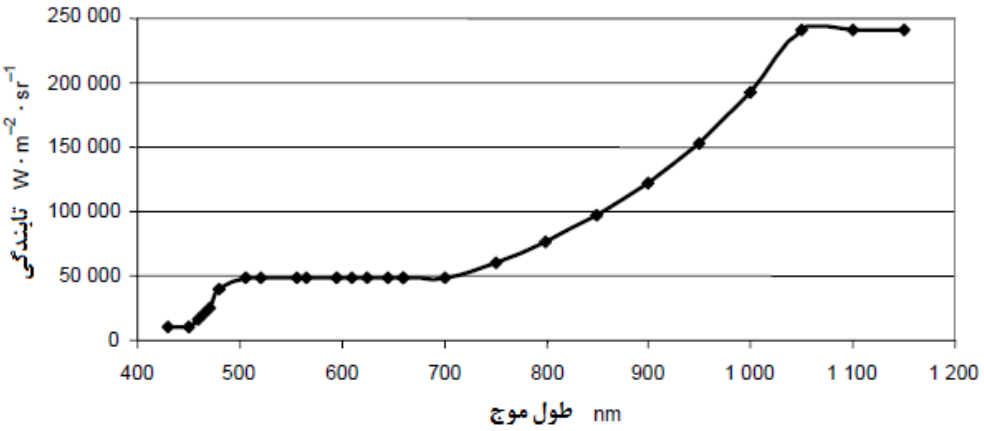
ث-۱ پیش زمینه

برای چشمه‌های گسترده، ممکن است تحلیل بالقوه خطرات شبکیه با استفاده از درخشایی یا تابندگی چشمه آسان‌تر شود. این پیوست، جدول و نمودارهای بیشینه تابندگی‌های مجاز را براساس حدود *AEL* برای طبقه ۱ و طبقه 1M و مقادیر *MPE* متناظر در گستره طول موجی خطر شبکیه از ۴۰۰ nm تا۱۴۰۰ nm برای حالت‌های مشاهده در جایی که حد زاویه‌ای چشمه ظاهری بزرگتر از α_{max} فرض شده است، برای کاربران ارائه می‌کند. با قانون پایستگی تابندگی تمامی چشمه‌های گسترده که زیر حد تراز تابندگی مشخص شده در جدول ث-۱ یا در شکل ث-۱، پراکنده شده یا گسیل می‌کنند، نمی‌توانند حدود گسیل قابل دسترس طبقه ۱ را بدون درنظرگرفتن اپتیک قرارگرفته در جلوی یک چشمه پراکنده افزایش دهند.

ث-۲ مقادیر تابندگی

مقادیر تابندگی در جدول ث-۱ براساس ترازهای *MPE*، IEC/ICNIRPهستند. از آنجایی‌که مقادیر *MPE* معمولاً از لحاظ چگالی انرژی ($J.m^{-2}$) یا چگالی شار تابشی ($W.m^{-2}$) بیان می‌شوند، لازم است که مقادیر *MPE* به تابندگی ($W.m^{-2}.sr^{-1}$) تبدیل شوند. مقادیر تابندگی به‌عنوان تابعی از طول موج رسم شده‌اند (به بند ث-۳ رجوع شود.)

جدول ث-۱ مقادیر پرتوگیری مجاز تابندگی را به‌عنوان تابعی از طول‌موج برای مدت زمان پرتوگیری ۱۰۰ s در جایی که حدود زاویه‌ای αبرای یک زاویه بزرگتر یا مساوی ۱۰۰ mrad هستند، ارائه می‌دهد. محدودکننده‌ترین حدود، فوتوشیمیایی یا گرمایی ذکر شده‌اند. حدود خطر فوتوشیمیایی شبکیه در سبک ایتالیکدرجدول مشخص شده‌اند.



شکل ث-۱-منحنی تغییرات تابندگی بر حسب طول‌موج

جدول ث-۱-بیشینه تابندگی چشمه پراکنده برای طبقه ۱

طول موج nm	تابندگی $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	تابندگی $W \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$
۴۳۰	۱۰۰۰۰	۱
۴۵۰	۱۰۰۰۰	۱
۴۶۰	۱۵۸۴۸	۱٫۵۸
۴۶۵	۱۹۹۵۲	۲
۴۷۰	۲۵۱۱۹	۲٫۵۱
۴۸۰	۳۹۸۱۱	۳٫۹۸
۵۰۵	۴۸۳۱۶	۴٫۸۳
۵۲۰	۴۸۳۱۶	۴/۸۳
۵۵۵	۴۸۳۱۶	۴٫۸۳
۵۶۵	۴۸۳۱۶	۴٫۸۰
۵۹۵	۴۸۳۱۶	۴٫۸۳
۶۱۰	۴۸۳۱۶	۴٫۸۳
۶۲۵	۴۸۳۱۶	۴٫۸۳
۶۴۵	۴۸۳۱۶	۴٫۸۳
۶۶۰	۴۸۳۱۶	۴٫۸۳
۶۶۰	۴۸۳۱۶	۴٫۸۳
۷۰۰	۴۸۳۱۶	۴٫۸۳

جدول ث-۱- ادامه

۷۵۰	۶۰۸۲۶	۶٫۰۸
۸۰۰	۷۶۵۷۶	۷٫۶۶
۸۵۰	۹۶۴۰۳	۹٫۶۴
۹۰۰	۱۲۱۳۶۵	۱۲٫۱۳
۹۵۰	۱۵۲۷۸۹	۱۵٫۲۸
۱۰۰۰	۱۹۲۳۵۰	۱۹٫۲۴
۱۰۵۰	۲۴۱۵۸۰	۲۴٫۱۶
۱۱۰۰	۲۴۱۵۸۰	۲۴٫۱۶
۱۱۵۰	۲۴۱۵۸۰	۲۴٫۱۶

ث-۳ توضیح اصول و عقاید

مقادیر تابندگی با استفاده از ترازهای *MPE*IEC/ICNIRP محاسبه شده‌اند. از آنجایی‌که مقادیر *MPE*معمولاًبرحسب چگالی انرژی ($J.m^{-2}$) یا چگالی شار تابشی ($W.m^{-2}$) بیان می‌شوند، لازم است که مقادیر *MPE*به تابندگی ($W.m^{-2}.sr^{-1}$) تبدیل شوند. مقادیر تابندگی به‌عنوان تابعی از طول‌موج در شکل ث-۱ رسم شده‌است.

برای *MPE*هایی که به‌عنوان چگالی شار تابشی بیان شده‌اند، روش زیر برای محاسبه تابندگی استفاده شده است. تابندگی به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$L = \frac{d\Phi}{d\Omega \, .dA.\cos\theta} \quad \text{(ث-۱)}$$

که در آن Φ توان تابشی است، Ω یک واحد زاویه فضایی است و A اندازه چشمه است. *MPE*ها از نظر چگالی شار تابشی که به‌صورت زیر تعریف شده است، بیان شده‌اند :

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad \text{(ث-۲)}$$

با جایگذاری معادله ث-۲ در معادله ث-۱ تابندگی بر حسب چگالی شار تابشی به‌دست می‌آید:

$$L = \frac{dE}{d\Omega.\cos\theta} \quad \text{(ث-۳)}$$

ما نیاز داریم تا زاویه فضایی Ω و زاویه مشاهده θ را به‌دست آوریم. با جایگذاری معادله زیر برای Ω

$$\Omega = \frac{\pi\alpha^2}{4} \quad \text{(ث-۴)}$$

و با فرض بدترین زاویه مشاهده که در آن θ=0(ناظر مستقیماً به باریکه نگاه می‌کند)، معادله ث-۳ به‌صورت زیر ساده می‌شود :

$$\boldsymbol{L = \frac{4E}{\pi\alpha^2}} \quad \text{(ث-۵)}$$

برای *MPE*های بیان شده برای چگالی انرژی، روش کمی متفاوت استفاده شده است. چگالی انرژی به‌صورت زیر تعیین شده‌است :

$$H = \frac{dQ}{dA} \quad \text{(ث-۶)}$$

که در آن Q انرژی تابشی در واحد ژول بیان شده است. با تقسم بر زمان به‌دست می‌آید :

$$\frac{H}{dt} = \frac{dQ}{dA.dt} \quad \text{(ث-۷)}$$

توان تابشی به‌صورت زیر بیان شده است :

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad \text{(ث-۸)}$$

معادله ث-۸ می‌تواند در معادله ث-۷ جایگزین شده، در نتیجه به‌دست می‌آید :

$$\frac{H}{dt} = \frac{d\Phi}{dA} \quad \text{(ث-۹)}$$

با برگشتن به معادله ث-۱، معادله ث-۹ را جایگزین کرده تا به‌دست آید :

$$L = \frac{dH}{d\Omega\ .dt.\cos\theta} \quad \text{(ث-۱۰)}$$

با جایگذاری مجدد معادله ث-۴ و با فرض بدترین حالت $\theta=0$ به‌دست می‌آوریم :

$$\boldsymbol{L = \frac{4H}{\pi\alpha^2 t}} \quad \text{(ث-۱۱)}$$

برای محاسبات، بدترین حالت حد زاویه‌ای ۱۰۰ mrad را برای مدت زمان پرتوگیری ۱۰۰ s فرض می‌کنیم. نتایج در جدول ث-۱ و نمودار رسم شده در شکل ث-۱ ذکر شده‌اند.

پیوست ج
(اطلاعاتی)
جداول خلاصه مشخصات

جدول ج-۱ کمیت‌های فیزیکی ارجاع داده شده در این استاندارد را خلاصه کرده و واحدی که برای هر یک از آن‌ها استفاده شده است (و نماد برای آن واحد) را ارائه می‌دهد. تعاریف برمبنای واحدهای SI از استانداردISO1000 گرفته شده است. واحدها و نمادها از استاندارد ملی ۵۱۳۸ گرفته شده است. جدول ج-۲ الزامات سازنده‌ها را خلاصه کرده است.

جدول ج-۱- خلاصه کمیت‌های فیزیکی استفاده شده در این استاندارد

کمیت	واحد	نماد	تعریف
طول	متر میلی متر میکرومتر نانومتر	m mm µm nm	طول مسیری است که نور در خلاء در طول مدت ۱/۲۹۹۷۹۲۴۵۸ ثانیه طی می‌کند.
مساحت	متر مربع	m^2	۱ m^2
جرم	کیلوگرم	kg	جرمی معادل جرم نمونه‌ی بین‌المللی (کیلوگرم)
زمان	ثانیه	s	مدت زمان ۹۱۹۲۶۳۱۷۷۰ دوره تابش مربوط به گذار بین دو تراز بسیار ظریف حالت پایه اتم سزیم
فرکانس	هرتز	Hz	فرکانس یک پدیده متناوب برابر با یک چرخه در ثانیه
زاویه تخت	رادیان میلی رادیان	rad mrad	زاویه تخت بین دو شعاع یک دایره که طولی به اندازه شعاع دایره روی محیط می‌سازد. $۱۰^{-۳}$rad
زاویه فضایی	استرادیان	sr	زاویه فضایی که راس آن در مرکز کره‌ای قرار دارد که مربعی به طول شعاع کره روی سطح می‌سازد.
نیرو	نیوتن	N	۱ $m \cdot kg \cdot s^{-2}$
انرژی	ژول	J	۱ $N \cdot m$
چگالی انرژی	ژول بر متر مربع	$J \cdot m^{-2}$	۱ $J \cdot m^{-2}$
انتگرال تابندگی	ژول بر متر مربع استرادیان	$J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	۱ $J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
توان	وات میلی وات	W mW	۱ $J \cdot s^{-1}$ $۱۰^{-۳}$ W
چگالی شار تابشی	وات بر متر مربع	$W \cdot m^{-2}$	۱ $W \cdot m^{-2}$
تابندگی	وات بر متر مربع استرادیان	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	۱ $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
یادآوری- مضارب به‌طور مناسب در نظر گرفته شده‌اند.			

جدول ج-۲- خلاصه الزامات سازنده

الزامات زیربندها	طبقه‌بندی						
	طبقه ۱	طبقه 1M	طبقه ۲	طبقه 2M	طبقه 3R	طبقه 3B	طبقه ۴
توصیف خطر طبقه پیوست پ	تحت شرایط قابل پیش‌بینی ایمن است.	برای طبقه۱ به‌جز زمانی که کاربر ابزار اپتیکی را به‌کار گیرد ممکن است خطرناک باشد.	توان پایین، حفاظت چشم به‌طور معمول با واکنش خود چشم تامین می‌شود.	برای طبقه۲ به‌جز زمانی که کاربر ابزار اپتیکی را به‌کار گیرد ممکن است بیشتر خطرناک باشد.	مشاهده درون باریکه‌ای ممکن است خطرناک باشد.	مشاهده درون باریکه‌ای معمولاً خطرناک است.	توان بالا، بازتاب‌های پراکنده ممکن است خطرناک باشند.
بدنه محافظ ۶-۲		برای هر محصول لیزری لازم است؛ محدودیت‌های دسترسی برای عملکرد اجرایی محصولات ضروری است.					
قفل همبندی ایمنی در بدنه محافظ ۶-۳	برای جلوگیری از برداشتن درپوش تا مقادیر گسیل قابل دسترسی که زیر آن مقدار برای طبقه 3Rهستند، طراحی شده است.				برای جلوگیری از برداشتن درپوش تا مقادیر گسیل قابل دسترسی که زیر آن مقدار برای طبقه 3Rیا 3Bبرای اغلب محصولات هستند، طراحی شده است.		
قفل همبندی از راه دور ۶-۴	لازم نیست.					اجازه اضافه کردن قفل همبندی اضافی را در نصب لیزر می‌دهد.	
بازنشانی دستی ۶-۵	لازم نیست.						اگر قطع شده یا همبند از راه دور فعال شود، بازنشانی دستی لازم است.
کنترل کلیدی ۶-۶	لازم نیست.					لیزر زمانی که کلید برداشته شده در حال کار است.	
دستگاه هشدار گسیل ۶-۷	لازم نیست.				هنگامی که لیزر روشن می‌شود یا بانک خازن لیزر تپی پرشود، هشدار شنیداری یا دیداری می‌دهد. فقط برای طبقه 3R، اگر تابش نامرئی گسیل شده باشد به‌کار می‌رود.		

جدول ج-۲- ادامه

<table>
<tr><th rowspan="2">الزامات
زیربندها</th><th colspan="7">طبقه‌بندی</th></tr>
<tr><th>طبقه ۱*</th><th>طبقه 1M</th><th>طبقه ۲</th><th>طبقه 2M</th><th>طبقه 3R</th><th>طبقه 3B</th><th>طبقه ۴</th></tr>
<tr><td>تضعیف کننده
۸-۶</td><td colspan="3">لازم نیست.</td><td colspan="4">وسیله‌ای برای قطع موقتی باریکه می‌دهد.</td></tr>
<tr><td>کنترل های وضعیت
۹-۶</td><td colspan="4">لازم نیست.</td><td colspan="3">کنترل‌ها طوری قرار گرفته‌اند که خطر پرتوگیری AELبیش از طبقه‌های ۱ و ۲ هنگامی که تنظیمات انجام شده‌اند وجود ندارد.</td></tr>
<tr><td>اپتیک مشاهده‌ای
۱۰-۶</td><td colspan="2">لازم نیست.</td><td colspan="5">گسیل از تمامی سامانه‌های مشاهده باید زیر AELطبقه 1Mباشد.</td></tr>
<tr><td>روبشی ۶-۱۱</td><td colspan="7">خرابی روبش نباید موجب افزایش طبقه‌بندی محصول شود.</td></tr>
<tr><td>برچسب طبقه
۷-۲ تا ۷-۷</td><td colspan="2">جمله‌بندی مورد نیاز</td><td colspan="5">شکل‌های ۱ و ۲ و جمله‌بندی مورد نیاز</td></tr>
<tr><td>برچسب روزنه
۸-۷</td><td colspan="4">لازم نیست.</td><td colspan="3">جمله‌بندی معین مورد نیاز</td></tr>
<tr><td>برچسب خروجی تابش
۹-۷</td><td>لازم نیست</td><td colspan="6">جمله‌بندی معین مورد نیاز</td></tr>
<tr><td>برچسب اطلاعات استانداردها ۷-۹</td><td colspan="3">روی محصول یا در دفترچه اطلاعات کاربر موردنیاز جمله‌بندی معین مورد نیاز است.</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>برچسب دسترسی تعمیر ۷-۱۰-۱</td><td>لازم نیست.</td><td colspan="6">متناسب با طبقه تابش قابل دسترس مورد نیاز است.</td></tr>
<tr><td>برچسب غیر فعال کردن قفل همبندی
۷-۱۰-۲</td><td colspan="7">تحت شرایط خاص، متناسب با طبقه‌ی لیزر استفاده شده مورد نیاز است.</td></tr>
</table>

جدول ج-۲- ادامه

الزامات	طبقه‌بندی						
زیربندها	طبقه ۱	طبقه 1M	طبقه ۲	طبقه 2M	طبقه 3R	طبقه 3B	طبقه ۴
برچسب گستره طول موج ۷-۱۰ و ۷-۱۲	برای گستره طول‌موجی خاص مورد نیاز است.						
برچسب خطر سوختگی ۷- ۱۳	جمله بندی زمانی که در نزدیکترین نقطه دسترسی انسان (روزنه ۳/۵mm) از *AEL*طبقه 3B بیشتر شود مورد نیاز است.					لازم نیست.	
اطلاعات کاربر ۸-۱	دفترچه روش کار باید شامل دستورالعمل‌هایی برای استفاده ایمن باشد. الزامات اضافی برای طبقه 1Mو طبقه2Mبه‌کار می‌روند.						
اطلاعات خرید و تعمیر ۸-۲	بروشورهای توسعهباید طبقه‌بندی محصول را تعیین کند ؛ دفترچه تعمیر باید شامل اطلاعات ایمنی باشد.						
محصولات پزشکی ۹-۲	لازم نیست.					برای ایمنی محصولات لیزر پزشکی استاندارد ملی ایران آی ای سی ۲۲-۲-۶۰۶۰۱ می‌تواند بکار می‌رود.	

*__یادآوری__- این جدول برای ارائه مناسبی از خلاصه الزامات در نظر گرفته شده است. به متن این استاندارد را برای تکمیل الزامات مراجعه کنید. در نتیجه مفهوم مشخصی از طبقه 1C، الزامات برایمحصولات لیزری طبقه 1C در این جدول گنجانده نشده است؛ در این استاندارد الزاماتی که کلی‌تر هستند تعیین شده‌اند؛ الزامات مشخص شده برای محصولی خاص در استانداردهای دیگر معین شده‌اند.

پیوست چ
(اطلاعاتی)
بررسی اجمالی قسمت‌های مرتبط با IEC 60825

قسمت‌های مرتبط با استاندارد60825 IEC برای استفاده در ارتباط با استاندارد اصلی 1-60825 IEC در نظر گرفتهشده‌اند. هر قسمت دامنه کاربرد مشخصی را در بر می‌گیرد و دستورالعمل‌های اصولی و آموزنده را برای سازنده و کاربر ارائه می‌دهند تا قادر به طبقه‌بندی صحیح و استفاده محصول در حالتی ایمن با در نظرگرفتن شرایط ویژه‌ی استفاده و مهارت/آموزش عملگر/کاربر باشند. اطلاعات تحت پوشش ممکن است شامل توضیح اصول و عقاید، مثال‌ها، شفاف‌سازی،برچسب‌گذاری و هرگونه محدودیت‌های اضافی و الزامات باشد. به جدول چ-۱ رجوع شود.

جدول چ-۱- بررسی داده‌های اضافی در قسمت‌های مرتبط با IEC 60825

شماره قسمت	نوع	عنوان	طراح محصول	ارائه دهنده	کاربر محصول	ارائه دهنده قطعات اصلی	روش آزمون	ارزیابی خطر	استانداردهای مربوط
۱	استاندارد	طبقه‌بندی تجهیزات و الزامات	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	
۲	استاندارد	ایمنی سامانه‌های مخابرات تار نوری (یادآوری‌های کاربردی و مثال‌ها را ارائه می‌دهد)	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	
۳	گزارش فنی	راهنمای نشانگرها و نمایش‌های لیزری	خیر	خیر	بلی	خیر	خیر	بلی	
۴	استاندارد	حفاظ‌های لیزر (اطلاعات طراحی و ساختاری را برای حفاظ‌های لیزر و مواد به ویژه جایی که لیزرهای توان بالا استفاده می‌شوند ارائه می‌دهد.)	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	
۵	گزارش فنی	چک لیست سازنده‌ها برای IEC 60825-1 (مناسب برای استفاده در یک گزارش ایمنی)	بلی	بلی	خیر	بلی	خیر	خیر	
۶	مشخصات فنی (صرف‌نظرشده)								
۷	مشخصات فنی (صرف‌نظرشده)								
۸	گزارش فنی	راهنمایی‌هایی برای استفاده ایمن از باریکه لیزر برای انسان	خیر	خیر	بلی	خیر	خیر	خیر	آی ای سی ۲۲-۲-۱-۶۰۶۰۱
۹	گزارش فنی	تلفیقی از بیشینه پرتوگیری مجاز تابش اپتیکی غیرهمدوس (چشمه‌های گسترده)	خیر	خیر	بلی	خیر	بلی	بلی	IEC 62471
۱۰	گزارش فنی (صرف‌نظرشده)								
۱۲	استاندارد	ایمنی سامانه‌های ارتباط نوری فضای آزاد مورد استفاده برای انتقال اطلاعات	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	
۱۳	گزارش فنی	اندازه‌گیری‌هایی برای طبقه‌بندی محصولات لیزری	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	
۱۴	گزارش فنی	دفترچه راهنمای کاربر	خیر	بلی	بلی	خیر	خیر	بلی	
۱۷	گزارش فنی	جنبه‌های ایمنی برای استفاده از اجزء نوری و بافه‌های نوری فعال در سامانه‌های مخابرات فیبر نوری توان بالا	خیر	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	

یادآوری- این جدولبرای ارائهمحتوادر نظر گرفته شده است-متناستانداردویژه را جهت تکمیلالزامات مشاهده کنید.برخی ازقسمت‌هایذکر شده در بالاممکن استتوسطگروه‌های کاریمورد بحثقرار گیرندوممکن استبه طور رسمیمنتشر نشوند.

پیوست ح
واژه‌نامه

فارسی به انگلیسی

آب مروارید	**Cataract**
ابرو	**Eyebrow**
ابزار	**Tool**
اتصال دهنده قفل همبندی از راه دور	**Remote interlock connector**
انرژی تابشی	**Radiant energy**
ایمن برای چشم	**Eye Safe**
ایمن در برابر خرابی	**Fail safe**
استوانه‌ها و مخروط‌ها	**Rods and cones**
باریکه	**Beam**
باریکه موازی شده	**Collimated beam**
بازتاب آینه‌ای	**Specular reflection**
بازتاب پراکنده	**Diffuse reflection**
بازتابندگی	**Reflectance**
بدنه محافظ	**Protective housing**
بیشینه پرتوگیری مجاز	**Maximum permissible exposure**
بیشینه حد زاویه ای	**Maximum angular subtense**
باریکه گستر	**Beam expander**
بستاور	**Shutter**
پس تصاویر	**After-Images**
پلک	**Eyelid**
پهنای باریکه	**Beam width**
تابش جانبی	**Collateral radiation**
تابش لیزر	**Laser radiation**
تابش لیزر روبشی	**Scanning laser radiation**
تابش لیزر منحرف شده	**Errant laser radiation**
تابش مرئی	**Visible radiation**
تابندگی	**Radiance**
تابندگی کل	**Integrated radiance**
تراگسیل	**Transmittance**
تضعیف‌کننده باریکه	**Beam attenuator**
توان تابشی	**Radiant power**
چشمه ظاهری	**Apparent source**
چشمه کوچک	**Small source**
چگالی انرژی	**Radiant exposure**
چگالی تراگسیل	**Transmittancedensity**
چگالی شار تابشی	**Irradiance**
حالت خطا و آنالیز اثر	**Failure Mode and Effect Analysis**
حالت کاری دستگاه	**Operation**
حد خطر حرارتی	**Thermal hazard limit**

Photochemical hazard limit	**حد خطرفوتوشیمیایی**
Minimum angular subtense	**حد زاویه ای کمینه**
Angular subtense of the apparent source	**حد زاویه ای چشمه ظاهری**
Accessible emission limit	**حد گسیل قابل دسترس**
Protective enclosure	**حصار محافظ**
Maximum output	**خروجی بیشینه**
Dazzle	**خیرگی خفیف**
Glare	**خیرگی شدید**
Service panel	**دریچه تعمیر**
Access panel	**دریچه دسترسی**
Human access	**دسترسی انسان**
Light emitting diode	**دیود نورگسیل**
Pigment	**رنگدانه**
Aperture	**روزنه**
Aperture stop	**روزنه‌بند**
Limiting aperture	**روزنه محدود کننده**
Total-On-Time-Pulse	**روش تپ کل در زمان**
Angle of acceptance	**زاویه پذیرش**
limiting angle of acceptance	**زاویه محدود کننده پذیرش**
Vitreoushumour	**زجاجیه**
Aqueoushumour	**زلالیه**
Cosmetics	**زیبایی**
Conjuctiva	**سطح داخلی پلک**
Receptor cells	**سلول های پذیرنده**
Retinal vein	**سیاهرگ شبکیه**
Radiant flux	**شار تابش**
Sclera	**صلبیه**
Wavelength	**طول‌موج**
Lens	**عدسی**
Bloodvessels	**عروق خونی**
Opticnerve	**عصب اپتیکی**
Iris	**عنبیه**
Nominal ocular hazard distance	**فاصله اسمی خطر دید**
ExtendedNominal ocular hazard distance	**فاصله اسمی خطر دید گسترده**
Pulse repetition frequency	**فرکانس تکرار تپ**
Ultra violet	**فرابنفش**
Fovea	**فووآ**
Cornea	**قرنیه**
Train of pulses	**قطاری از تپ‌ها**
Beam diameter	**قطر باریکه**
Beam path component	**قطعات مسیر باریکه**
Workpiece	**قطعه کار**
Mode –locking	**قفل شدگی مد**
Safety interlock	**قفل همبندی ایمنی**
Fail safe safety interlock	**قفل همبندی ایمن در برابر خرابی**
Administrative control	**کنترل اجرایی**

Accessible emission	**گسیل قابل دسترس**
Macula	**لکه زرد**
Laser	**لیزر**
Pulsed laser	**لیزر تپی**
Time base	**زمان مبنا**
Beam stop	**متوقف کننده باریکه**
Most restrictive position	**محدودکننده-ترینموقعیت**
Laser product	**محصول لیزری**
Medical laser product	**محصول لیزر پزشکی**
Embedded laser product	**محصول لیزری جاسازی-شده**
Class1 laser product	**محصول لیزری طبقه ۱**
Class 1C laser product	**محصول لیزری طبقه1C**
Class 1M laser product	**محصول لیزری طبقه1M**
Class2 laser product	**محصول لیزری طبقه ۲**
Class2M laser product	**محصول لیزری طبقه2M**
Class 3R and3B laser product	**محصول لیزری طبقه3R , 3B**
Class 4 laser product	**محصول لیزری طبقه ۴**
Demonstration laser product	**محصول لیزری نمایشی**
Contact Mode	**مد تماسی**
Exposure duration	**مدت زمان پرتودهی**
Pulse duration	**مدت زمان تپ**
Emission duration	**مدت زمان گسیل**
Pupil	**مردمک**
Eyelash	**مژه**
Defined beam path	**مسیر مشخص شده برای باریکه**
Laser safety officer	**مسئول ایمنی لیزر**
Source viewing	**مشاهده چشمه**
Intrabeam viewing	**مشاهده درون باریکه‌ای**
Choroid	**مشیمیه**
Laser energy source	**منبع انرژی لیزر**
Continuous wave	**موج پیوسته**
Field stop	**میدان‌بند**
Flash-Blindness	**نابینایی لحظه‌ای**
Nominal ocular hazard area	**ناحیه اسمی خطر دید**
Laser hazard area	**ناحیه خطر لیزر**
Laser controlled area	**ناحیه کنترل شده لیزر**
Time breakpoints	**نقطه انفصال زمان**
Maintenance	**نگهداری**
Beam divergence	**واگرایی باریکه**

انگلیسی به فارسی

Access panel	**دریچه دسترسی**
Accessible emission	**گسیل قابل دسترس**
Accessible emission limit	**حد گسیل قابل دسترس**
Administrative control	**کنترل اجرایی**
After-Images	**پس تصاویر**
Alpha min	**کمینه آلفا**
Angle of acceptance	**زاویه پذیرش**
Angular subtense of the apparent source	**حد زاویه ای چشمه ظاهری**
Aperture	**روزنه**
Aperture stop	**روزنه‌بند**
Apparent source	**چشمه ظاهری**
Aqueoushumour	**زلالیه**
Beam	**باریکه**
Beam attenuator	**تضعیف‌کننده باریکه**
Beam diameter	**قطر باریکه**
Beam width	**پهنای باریکه**
Beam divergence	**واگرایی باریکه**
Beam expander	**باریکه گستر**
Beam path component	**قطعات مسیر باریکه**
Beam stop	**متوقف کننده باریکه**
Bloodvessels	**عروق خونی**
Cataract	**آب مروارید**
Choroid	**مشیمیه**
Class1 laser product	**محصول لیزری طبقه ۱**
Class 1C laser product	**محصول لیزری طبقه1C**
Class 1M laser product	**محصول لیزری طبقه1M**
Class2 laser product	**محصول لیزری طبقه ۲**
Class2M laser product	**محصول لیزری طبقه2M**
Class 3R and3B laser product	**محصول لیزری طبقه3R, 3B**
Class 4 laser product	**محصول لیزری طبقه ۴**
Collateral radiation	**تابش جانبی**
Collimated beam	**باریکه موازی شده**
Conjuctiva	**سطح داخلی پلک**
Contact Mode	**مد تماسی**
Continuous wave	**موج پیوسته**
Cornea	**قرنیه**
Cosmetics	**زیبایی**
Dazzle	**خیرگی خفیف**
Defined beam path	**مسیر مشخص شده برای باریکه**
Demonstration laser product	**محصول لیزری نمایشی**
Diffuse reflection	**بازتاب پراکنده**
Embedded laser product	**محصول لیزری جاسازی-شده**
Emission duration	**مدت زمان گسیل**
Errant laser radiation	**تابش لیزر منحرف شده**

Laser safety officer	**مسئول ایمنی لیزر**
Lens	**عدسی**
Light emitting diode	**دیود نور گسیل**
limiting angle of acceptance	**زاویه محدودکننده پذیرش**
Limiting aperture	**روزنه محدود کننده**
Macula	**لکه زرد**
Maintenance	**نگهداری**
Maximum angular subtense	**بیشینه حد زاویه ای**
Maximum output	**خروجی بیشینه**
Maximum permissible exposure	**بیشینه پرتوگیری مجاز**
Medical laser product	**محصول لیزر پزشکی**
Minimum angular subtense	**کمینه حد زاویه ای**
Mode -locking	**قفل شدگی مد**
Most restrictive position	**محدودکننده-ترینموقعیت**
Nominal ocular hazard area	**ناحیه اسمی خطر دید**
Nominal ocular hazard distance	**فاصله اسمی خطر دید**
Operation	**حالت کاری دستگاه**
Opticnerve	**عصب اپتیکی**
Photochemical hazard limit	**حد خطرفوتوشیمیایی**
Pigment	**رنگدانه**
Protective enclosure	**حصار محافظ**
Protective housing	**بدنه محافظ**
Exposure duration	**مدت زمان پرتودهی**
ExtendedNominal ocular hazard distance	**فاصله اسمی خطر دید گسترده**
Eyebrow	**ابرو**
Eyelash	**مژه**
Eyelid	**پلک**
Eye Safe	**ایمن برای چشم**
Fail safe	**ایمن در برابر خرابی**
Fail safe safety interlock	**قفل همبندی ایمن در برابر خرابی**
Failure Mode and Effect Analysis	**حالت خطا و آنالیز اثر**
Field stop	**میدان‌بند**
Flash-Blindness	**نابینایی لحظه‌ای**
Fovea	**فووآ**
Glare	**خیرگی شدید**
Human access	**دسترسی انسان**
Integrated radiance	**تابندگی کل**
Intrabeam viewing	**مشاهده درون باریکه‌ای**
Iris	**عنبیه**
Irradiance	**چگالی شار تابشی**
Laser	**لیزر**
Laser controlled area	**ناحیه کنترل شده لیزر**
Laser energy source	**منبع انرژی لیزر**
Laser hazard area	**ناحیه خطر لیزر**
Laser product	**محصول لیزری**
Laser radiation	**تابش لیزر**

Pulse duration	**مدت زمان تپ**
Pulsed laser	**لیزر تپی**
Pulse repetition frequency	**فرکانس تکرار تپ**
Pupil	**مردمک**
Radiance	**تابندگی**
Radiant energy	**انرژی تابشی**
Radiant exposure	**چگالی انرژی**
Radiant flux	**شار تابشی**
Radiant power	**توان تابشی**
Receptor cells	**سلول های پذیرنده**
Reflectance	**بازتابندگی**
Remote interlock connector	**اتصال دهنده قفل همبندی از راه دور**
Retinal vein	**سیاهرگ شبکیه**
Rods and cones	**استوانه‌ها و مخروط‌ها**
Safety interlock	**قفل همبندی ایمنی**
Scanning laser radiation	**تابش لیزر روبشی**
Sclera	**صلبیه**
Service	**تعمیر**
Service panel	**دریچه تعمیر**
Shutter	**بستاور**
Single fault condition	**حالت تک اشکال**
Small source	**چشمه کوچک**
Source viewing	**مشاهده چشمه**
Specular reflection	**بازتاب آینه‌ای**
Thermal hazard limit	**حد خطر حرارتی**
Time base	**زمان مبنا**
Time breakpoints	**نقطه انفصال زمان**
Tool	**ابزار**
Total-On-Time-Pulse	**روش تپ کل در زمان**
Train of pulses	**قطاری از تپ‌ها**
Transmittance	**تراگسیل**
Transmittancedensity	**چگالی تراگسیل**
Ultra violet	**فرابنفش**
Visible radiation	**تابش مرئی**
Vitreoushumour	**زجاجیه**
Wavelength	**طول‌موج**
Workpiece	**قطعه کار**

.

کتاب‌نامه

[1] IEC 60027-1, Letter symbols to be used in electrical technology – Part 1: General
[2] IEC 60065, Audio, video and similar apparatus – Safety requirements
[3] IEC 60079 (all parts), Explosive atmospheres
[4] IEC 60079-0:2011, Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements
[5] IEC 60204-1, Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements
[6] IEC 60601-2-22, Medical electrical equipment - Part 2-22: Particular requirements for basic safety and essential performance of surgical, cosmetic, therapeutic and diagnostic laser equipment
[7] IEC 60825-2, Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)
[8] IEC/TR 60825-3, Safety of laser products – Part 3: Guidance for laser displays and shows
[9] IEC 60825-4, Safety of laser products – Part 4: Laser guards
[10] IEC/TR 60825-5, Safety of laser products – Part 5: Manufacturer's checklist for IEC 60825-1
[11] IEC/TR 60825-8, Safety of laser products – Part 8: Guidelines for the safe use of laser beams on humans
[12] IEC/TR 60825-9, Safety of laser products – Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation
[13] IEC 60825-12, Safety of laser products – Part 12: Safety of free space optical communication systems used for transmission of information
[14] IEC/TR 60825-13, Safety of laser products – Part 13: Measurements for classification of laser products
[15] IEC/TR 60825-14, Safety of laser products – Part 14: A user's guide
[16] IEC 60950 (all parts), Information technology equipment – Safety
[17] IEC 61010-1, Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements
[18] IEC 61508 (all parts), Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems
[19] IEC 62115, Electric toys – Safety
[20] IEC 62368-1, Audio/video, information and communication technology equipment – Part 1: Safety requirements
[21] IEC/ISO 11553 (all parts), Safety of machinery — Laser processing machines
[22] IEC/ISO 11553-1, Safety of machinery – Laser processing machines – Part 1: General safety requirements
[23] ISO 11146-1, Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios – Part 1: Stigmatic and simple astigmatic beams
[24] ISO 12100, Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction
[25] ISO 13694, Optics and optical instruments – Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser beam power (energy) density distribution
[26] ISO 13849 (all parts), Safety of machinery – Safety-related parts of control systems
[27] ISO 15004-2:2007, Ophthalmic instruments – Fundamental requirements and test methods – Part 2: Light hazard protection
[28] ISO 80000-1, Quantities and units – Part 1: General