



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۳۵۰۱-۱

چاپ اول

۱۳۹۳

INSO

3501-1

1st.Edition

2014

ایمنی محصولات لیزری -
قسمت ۱:
طبقه‌بندی و الزامات تجهیزات

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

ICS:33.100

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه 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 و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، 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 می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته 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 در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت 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 شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ 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 بین المللی بهره گیری می شود.

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 استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، 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، گواهینامه 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:

مهاجرانی، عزالدین
(دکتری فیزیک)

سمت و/یا نمایندگی

ریاست پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی

دبیر

کلشادی، احمدرضا
(لیسانس مهندسی الکترونیک)

معاون تجهیزات IT و 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 و فیزیک، 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
صایران

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران
ب	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ز	پیش گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۳	۲ مراجع الزامی
۴	۳ اصطلاحات و تعاریف
۲۶	۴ اصول طبقه‌بندی
۲۶	۴-۱ کلیات
۲۷	۴-۲ مسئولیت‌های طبقه‌بندی
	۴-۳ قوانین طبقه‌بندی ۳۴
۴۰	۴-۴ محصولات لیزری طراحی شده برای کار به عنوان لامپ‌های متداول
۴۱	۵ تعیین تراز گسیل قابل دسترس و طبقه‌بندی محصول
۴۱	۵-۱ آزمون‌ها
۴۳	۵-۲ اندازه‌گیری تابش لیزر
۴۴	۵-۳ تعیین طبقه محصول لیزری
۵۵	۵-۴ هندسه اندازه‌گیری
۵۴	۶ مشخصات مهندسی
۵۴	۶-۱ نکات و اصلاحات کلی
۵۴	۶-۲ بدنه محافظ
۵۵	۶-۳ دریچه‌های دسترسی و قفل‌های همبندی ایمنی
۵۷	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
۵۸	۶-۸ متوقف‌کننده یا تضعیف‌کننده باریکه
۵۸	۶-۹ کنترل‌ها
۵۸	۶-۱۰ ابزار اپتیکی مشاهده‌ای

ادامه فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
۵۹	۱۱-۶ حفاظت روبشی
۶۶	۱۲-۶ حفاظ برای محصولات طبقه 1C
	۱۳-۶۶۶ دسترسی درراه
۶۰	۱۴-۶ شرایط محیطی
۶۷	۱۵-۶ حفاظت در برابر خطرات دیگر
۶۰	۱۶-۶ مدار محدودکننده قدرت
۶۱	۷ برچسب گذاری
۶۱	۱-۷ کلیات
۶۴	۲-۷ طبقه ۱ و طبقه 1M
۶۴	۳-۷ طبقه 1C
۶۵	۴-۷ طبقه ۲ و طبقه 2M
۶۶	۵-۷ طبقه 3R
۶۷	۶-۷ طبقه 3B
۶۷	۷-۷ طبقه ۴
۶۸	۸-۷ برچسب روزنه
۶۸	۹-۷ خروجی تابش و اطلاعات استاندارد
۶۸	۱۰-۷ برچسب‌هایی برای دریچه دسترسی
۷۰	۱۱-۷ هشدار برای تابش لیزر نامرئی
۷۰	۱۲-۷ هشدار برای تابش لیزر مرئی
۷۱	۱۳-۷ هشدار برای خطر بالقوه برای پوست یا بخش‌های قدامی چشم
۷۱	۸ سایر الزامات اطلاعاتی
۷۱	۱-۸ اطلاعات برای مصرف‌کننده
۷۳	۲-۸ اطلاعات خرید و خدمات پس از فروش
۷۴	۹ الزامات دیگر برای محصولات لیزری خاص
۷۴	۱-۹ قسمت‌های دیگر مجموعه استاندارد IEC 60825
۷۵	۲-۹ محصولات لیزر پزشکی
۷۵	۳-۹ ماشین‌های پردازش لیزری
۷۵	۴-۹ اسباب‌بازی‌های الکتریکی

ادامه فهرست مندرجات

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

پیش‌گفتار

استاندارد "ایمنی محصولات لیزری- قسمت ۱: طبقه‌بندی و الزامات تجهیزات" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوطه توسط مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک تهیه و تدوین شده و در چهارصد و شصتمین اجلاس 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 180 nm تا 1 mm هستند.

اگرچه لیزرهای وجود دارند که طول‌موج‌های کوچکتر از 180 nm (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، ذاتاً 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 تعمیراتی 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 می‌شود 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)^۱ طبقه ۱ تحت همه شرایط عملکرد، نگهداری، تعمیر و خرابی، تجاوز نمی‌کند. چنین محصول لیزری ممکن است به‌عنوان یک محصول لیزری معاف شده در نظر 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 لیزر هستند، 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^۱ 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 نظر گرفته 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 کلاس B یا 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 ای 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، استاندارد ISO 15004-2 باید به‌کار گرفته شود و اصول ایجاد شده مربوط به محدودیت‌ها در آن باید برای تابش لیزر به‌کار روند. (به پیوست پ و ت رجوع شود). در ویرایش‌های قبلی، دیودهای نورگسیل (LEDs)^۲ در دامنه کاربرد این استاندارد قرار داشتند و هنوز ممکن است در دیگر قسمت‌های مجموعه استاندارد ملی ایران شماره ۳۵۰۱ قرار گرفته باشند. به هر حال با تدوین استانداردهای ایمنی لامپ، ایمنی تابش نوری LEDها در حالت کلی بهتر است توسط استانداردهای ایمنی لامپ تحت بررسی قرار گیرند. هرگاه LEDها به لیزرها اشاره داشته باشند، حذف آنها از دامنه کاربرد این استاندارد مانع استانداردهای دیگر در برگیرنده LEDها نمی‌شود. استاندارد IEC 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 ممکن است تحت مجموعه استانداردهای IEC 62471 «ایمنی فوتوبیولوژیکی لامپ‌ها و سیستم‌های لامپی» مورد ارزشیابی قرار گیرند. چنین محصولی در دامنه

1- Dazzle and Glare
2- Light Emitting Diodes

کاربرد این استاندارد باقی می‌ماند، به غیر از گسیل تابش نوری توصیف شده در بالا که نیاز به در نظر گرفتن برای طبقه‌بندی ندارند.

مقادیر بیشینه پرتوگیری مجاز (*MPE*)^۱ 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 به کار روند یا باید مقادیر حد پرتوگیری اشاره شده در استاندارد IEC 62471 به کار روند.

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

یادآوری ۴- پیوست‌های اطلاعاتی الف تا ج 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 طول موجی 180 nm تا 1 mm 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.

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

۲-۲ استاندارد 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) به کار می‌روند:

۱-۳

دربچه دسترسی Access Panel

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

۲-۳

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.

یادآوری ۲- 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 محدودکننده 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 محدودکننده 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 اندازه‌گیری 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 روزه‌ها 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.

حد زاویه‌ای چشمه ظاهری Angular Subtense of the Apparent Source

 α

زاویه دربرگرفته شده توسط یک چشمه ظاهری، به طوری که 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 TEM₀₀، 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 ۳-۴-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 شبکه به کار 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 به طور معمول کوچکتر از واگرایی باریکه است.

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.

روزنه بند 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_u در یک موقعیت در فضا، قطر کوچکترین دایره‌ای است که μ از کل توان (یا انرژی) را در بر می‌گیرد.

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 به طور معمول برای تعیین حد زاویه‌ای چشمه ظاهری α به کار 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 به کار رود. برای نیم‌رخ چگالی شار تابشی غیرگاوسی تصویر حد زاویه‌ای چشمه ظاهری، روش توصیف شده در زیر بند 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^۱ (همان‌طور که در استاندارد ملی ۱۱۷۱۰-۱ 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 به وسیله 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 به دست می‌آید:

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

یادآوری ۲- واحد در SI: رادیان.

یادآوری ۳- تعیین واگرایی ممان مرتبه دوم (استاندارد ملی ۱۱۷۱۰-۱) 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

متوقف کننده باریکه BeamStop

افزارهای که مسیر باریکه لیزر را پایان می دهد.

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 ۲-۳ را ببینید) بیشتر از *AEL* طبقه یک برای طول موجها و مدت زمان گسیل قابل استفاده را نمی دهد. (به زیربندهای ۳-۵ و ۳-۴-ث رجوع شود).

یادآوری ۱- برای محدودیت های طرح طبقه بندی به پیوست پ رجوع شود.

یادآوری ۲- از آنجاکه آزمون های طبقه بندی محصول، به آزمون های در حین کار محدود می شوند، ممکن است نمونه ای برای محصولات لیزری جاسازی شده^۱ باشد، که در آن تابش لیزر بالاتر از حد *AEL* طبقه محصول در شرایط زیر در دسترس قرار گیرد: می تواند در حین نگهداری (به زیربند ۶-۲-۱ رجوع شود) یا تعمیر، زمانی که قفل های همبندی دریچه های دسترسی تعلیق شوند، در دسترس قرار گیرد.

محصول لیزری طبقه 1C Class 1C Laser Product

هر محصول لیزری که به طور خاص برای استفاده ی تماسی با پوست یا بافت غیرچشمی طراحی شده است و در آن:

- خطر برای چشم در حین کار توسط ابزار مهندسی متوقف می شود، یعنی هنگامی که لیزر از تماس با پوست یا بافت غیرچشمی برداشته می شود، گسیل قابل دسترس متوقف شده یا به پایین تر از حد *AEL* طبقه ۱ کاهش می یابد.
- 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 در نظر گرفته شده افزایش دهد، و
- محصول لیزری با استانداردهای قابل اجرا سازگار است.

یادآوری ۱- برای طبقه بندی یک محصول به عنوان طبقه 1C صرفاً استناد به این استاندارد، بدون در نظر گرفتن الزامات تعیین شده در استانداردهای ایمنی جانبی قابل استفاده محصول، کافی نیست. به محدودیت های طبقه بندی در پیوست پ نیز رجوع شود.

یادآوری ۲- چون تابش گسیلی ممکن است MPE قابل کاربرد برای پوست را افزایش دهد، خروجی یک لیزر طبقه 1C ممکن است به طور 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.

یادآوری ۳- 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 دریاچه‌های دسترسی تعلیق شوند، در دسترس قرارگیرد.

۲۰-۳

محصول لیزری طبقه 1M Class 1M Laser Product

هر محصول لیزری در گستره طول موجی $302,5\text{nm}$ تا 4000nm را می‌نامند 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 طول موج 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- برای محدودیت‌های طرح طبقه‌بندی به پیوست پ رجوع شود.

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

یادآوری ۳- 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 دریاچه‌های دسترسی تعلیق شوند، در دسترس قرارگیرد.

۲۱-۳

محصول لیزری طبقه ۲ Class 2 Laser Product

هر محصول لیزری در گستره طول موجی 400nm تا 700nm را می‌نامند 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 نمی‌دهد (زیربند ۴-۳-ث)، یعنی جایی که تراز تابش مطابق زیربند ۵-۳-پ اندازه‌گیری شده است.

یادآوری ۱- برای محدودیت‌های طرح طبقه‌بندی به پیوست پ رجوع شود.

یادآوری ۲- 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 دریاچه‌های دسترسی تعلیق شوند، در دسترس قرارگیرد.

محصول لیزری طبقه 2M Class 2M Laser Product

هر نوع محصول لیزری در گستره طول موجی nm ۴۰۰ تا nm ۷۰۰ را 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 نمی دهد (زیربند ۴-۳-ث)، یعنی جایی که تراز تابش مطابق زیربند ۵-۳-پ اندازه گیری شده است.

یادآوری ۱- برای محدودیت های طرح طبقه بندی به پیوست پ رجوع شود.

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

یادآوری ۳- از آنجا که آزمون های طبقه بندی محصول، به آزمون های در حین کار محدود می شوند، ممکن است نمونه ای برای محصولات لیزری جاسازی شده باشند که در آن تابش لیزر بالاتر از حد *AEL* طبقه محصول می تواند در حین نگهداری (به زیربند ۶-۲-۱ رجوع شود) یا تعمیر زمانی که قفل های همبندی درجه های دسترسی تعلیق شوند، در دسترس قرار گیرد.

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 طبقه های 3R و 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- برای محدودیت های طرح طبقه بندی به پیوست پ رجوع شود.

یادآوری ۲- محصولات طبقه 1M و کلاس 2M ممکن است دارای خروجی بیشتر یا کمتر از حد *AEL* طبقه 3R، بسته به مشخصات اپتیکی آنها باشند.

یادآوری ۳- از آنجا که آزمون های طبقه بندی محصول، به آزمون های در حین کار محدود می شوند، ممکن است نمونه ای برای محصولات لیزری جاسازی شده باشند که در آن تابش لیزر بالاتر از حد *AEL* طبقه محصول می تواند در حین نگهداری (به زیربند ۶-۲-۱ رجوع شود) یا تعمیر زمانی که قفل های همبندی درجه های دسترسی تعلیق شوند، در دسترس قرار گیرد.

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 طبقه 3B را بدهد. (به زیربند ۵-۳-ج رجوع شود).
یادآوری ۱- برای محدودیت‌های 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 به جز 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 نیست سامانه ارسال باریکه در حالت تماس "فیزیکی" باشد. به‌عنوان مثال می‌تواند با نزدیک شدن به هدف مورد نظر، اندازه‌گیری‌های کنترلی مهندسی مناسب موجود را تأمین 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 به منظور 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 به کار نمی‌رود، اگرچه ممکن است برای نشان دادن کاربردهایشان استفاده شوند.

۳۱-۳

بازتاب پراکنده Diffuse Reflection

تغییر توزیع فضایی باریکه تابش به وسیله 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 Embedded 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 می‌تواند 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.

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.

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 شبکه‌ی 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.

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 از ۱۴۰۰ nm بر اساس حدود پرتوگیری بالاتر در گستره طول‌موج قابل مقایسه با ناحیه خطر شبکه‌ای 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 بینایی کوتاه‌مدت، مانند خیرگی خفیف «نابینایی لحظه‌ای»^۱ و پس-تصاویر^۲ 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 ۱۴۰۰ nm است استفاده شود زیرا لیزرها در هر طول‌موج با توان خروجی کافی می‌توانند موجب آسیب شوند.

^۱Flash-Blindness

^۲After-Images

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.

قفل همبندی ایمن در برابر خرابی Fail Safe Safety Interlock

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

یادآوری ۱- به عنوان 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 نگه دارد.

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 به کار گرفته شود.

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 3B و 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 روزه‌ای 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 در گستره 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 به منظور تأمین انرژی جهت برانگیختگی الکترون‌ها، یون‌ها یا مولکول‌ها.

یادآوری ۱- منابع عام انرژی مانند شبکه تأمین برق یا باتری‌ها، به عنوان 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 به منظور تشکیل یک لیزر یا سامانه لیزری به کار 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 طول موجی بین ۱۸۰ nm تا ۱ mm 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 شبکه

Limiting Angle 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 شبکه 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 پذیرش γ_{ph} به γ_{ph} محدود شده و چشمه برای نقاط گرم جاروب می‌شود. اگر اندازه زاویه پذیرش γ به 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 محدودکننده تعیین شده باشد، اندازه واقعی زاویه پذیرش بر اندازه‌گیری تأثیری 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 شبکه

یادآوری ۱- مقدار زاویه پذیرش γ ممکن است بین α_{min} و α_{max} متغیر باشد. (به زیربند ۳-۴-ت و ۵-۴-ب-۳-ب-۲ رجوع 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 به کار 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 5mrad تا 100mrad بسته به مدت زمان گسیل (جدول ۹) می‌تواند تغییر کند.

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 به کار می‌رود.

یادآوری ۱- از آنجائی که 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 آبی 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

مریی و فروسرخ نزدیک در گستره طول موج ۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm، به اندازه تصویر روی شبکه 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 چشمه توصیف 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- $\alpha_{min} = 1.5 \text{ mrad}$

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 طول موج فرابنفش، قرنیه و عدسی را در برابر اثرات مضر محافظت می‌کند، در حالی که حد خطر فوتوشیمیایی شبکیه در گستره طول موج تعیین شده 400 nm تا 600 nm ، 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 می‌شود).

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 اندازه‌گیری شده بین نقاط نیم‌قله توان در لبه جلویی و پشتی هر تپ.

۷۰-۳

لیزر تپی Pulsed Laser

لیزری که انرژی خود را به صورت 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 به دست می‌آید

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

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.

dA مساحت 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 IEC 845-01-34 است که برای مقصود این استاندارد کافی است. در مواردی که تردید وجود دارد، بهتر است از تعریف IEC تبعیت شود.

یادآوری ۲- واحد تابندگی در SI، وات بر مترمربع استرادیان $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ 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 SI ژول بر مترمربع ($J.m^{-2}$) 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 SI وات (W) است.

۷۵-۳

بازتابندگی Reflectance

P

نسبت توان تابشی بازتابیده به توان تابشی فرودی در شرایط مورد نظر

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

۷۶-۳

اتصال دهنده قفل همبندی از راه دور Remote Interlock Connector

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

یادآوری ۱- به زیربند ۴-۶ رجوع شود.

۷۷-۳

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 به عمل می‌آورد.

یادآوری ۱- به زیربند ۳-۶ رجوع شود.

۷۸-۳

تابش لیزر روبشی Scanning Laser Radiation

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

۷۹-۳

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.

۸۰-۳

دریچه تعمیر Service Panel

دریچه دسترسی که جهت تعمیر برداشته یا جابجا می‌شود.

۸۱-۳

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 آن که 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 مبنای Time Base

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

یادآوری ۱- به زیربند ۴-۳-۳ 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 تثبیت‌کننده مشابه به کار 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 (Optical Density) Transmittance

D

لگاریتم در مبنای ده معکوس تراگسیل.

$$D = -\text{Log}_{10}^T$$

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 شیئی 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) به کار 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.

۲-۴ مسئولیت‌های طبقه‌بندی

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

۳-۴ 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 ۱-۵ 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 این صورت دیگر نیازی به در نظر گرفتن بندهای زیر نیست.

۳-۴-ب، ۳-۴-پ، ۳-۴-ت، ۳-۴-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 1M و 2M استفاده 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 طبقه 1M و 2M، دارای انرژی کل یا توان اندازه‌گیری شده بزرگتر از طبقه ۲ یا طبقه 3R باشد. برای چنین محصولات لیزری، طبقه‌بندی 1M و 2M مناسب است.

حدود گسیل قابل دسترس *AELs* برای طبقه ۱ و 1M، طبقه ۲ و 2M، طبقه 3R و 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 طول موج با گستره طیفی خط گسیل 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 طول موج:

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 طول موج‌های آن‌ها برای تمامی طبقات پایین‌تر، از مقدار واحد تجاوز کند ولی برای طبقه تعیین شده از مقدار واحد تجاوز نکند، به یک طبقه اختصاص داده می‌شود. این قانون نیز برای تابش غیرلیزر منطبق بر روی شبکه‌های طول موج‌های بین ۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm یا منطبق بر روزه‌بند برای دیگر گستره‌های طول موجی به کار می‌رود. 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 افزودنی برای چشم نشان داده نشده، به طبقه اختصاص 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 طول موج تجاوز نکند.

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

<i>IR-C</i> و <i>IR-B</i> ۱۰۶ nm تا ۱۴۰۰nm	مرئیو- <i>IR-A</i> ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰ nm	<i>UV-A</i> ۴۰۰ nm تا ۳۱۵nm	<i>UV-C</i> و <i>UV-B</i> ۳۱۵ nm تا ۱۸۰nm	گستره طیفی ^a
			O S	<i>UV-C</i> و <i>UV-B</i> ۳۱۵nm تا ۱۸۰nm
O S	S	O S		<i>UV-A</i> ۴۰۰ nm تا ۳۱۵nm
S	^b O S	S		مرئیو- <i>IR-A</i> ۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm
O S	S	O S		<i>IR-C</i> و <i>IR-B</i> ۱۰۶ nm تا ۱۴۰۰ nm
O (چشم) S (پوست)				
^a برای تعریف گستره طیفی به جدول ت-۱ رجوع کنید. ^b جایی که <i>MPE</i> و <i>AEL</i> ‌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 (۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm) باید مستقل ارزیابی شوند و محدودکننده‌ترین مقادیر استفاده شوند. ^c برای تعیین <i>AEL</i> تنها قوانین اضافی برای چشم به کار می‌روند.				

پ- تابش از چشمه‌های گسترده

خطر چشمی یک چشمه لیزر در گستره طول موجی 400 nm تا 1400 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 $\alpha = \alpha_{min} = 1.5 \text{ mrad}$ 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 1.5 mrad اگر آن یک چشمه گسترده باشد، موازی شود. بنابراین هر لیزر در جایی که واگرایی باریکه در هر صفحه 1.5 mrad یا کمتر تعیین شده باشد، نمی‌تواند به‌عنوان یک چشمه گسترده رفتار کند. برای یک چشمه کوچک، α برابر 1.5 mrad تنظیم شده و $C_6 = 1$ است.

یادآوری ۴- برای ارزشیابی خطر گرمایی شبکه (400 nm تا 1400 nm)، AEL های چشمه‌های گسترده مستقیماً با حد زاویه‌ای چشمه تغییر می‌کنند. برای ارزشیابی خطر فوتوشیمیایی شبکه (400 nm تا 600 nm)، برای پرتوگیری‌های بیشتر از ۱ ثانیه، AEL ها مستقیماً با حد زاویه‌ای چشمه تغییر نمی‌کنند. بسته به مدت زمان گسیل (زیربند ۵-۴-۳-ب-۱)، یک زاویه پذیرش محدود کننده $\gamma_{ph} = 11 \text{ mrad}$ یا بیشتر برای اندازه‌گیری مربوط به خطر فوتوشیمیایی استفاده شده است و رابطه زاویه پذیرش محدود کننده γ_{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 ۱M 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 α هستند.

برای محصولات لیزری طبقه‌بندی شده در محدودکننده ترین موقعیت، جایی که شرط ۱ به کار اعمال می‌شود (به زیربند ۵-۴-۳ رجوع شود)، بزرگ‌نمایی ۷ برابری حد زاویه‌ای α چشمه ظاهری ممکن است برای تعیین C_6 به کار 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 $\alpha < 1.5 \text{ mrad}$ بوده اما $\alpha > 1.5 \text{ mrad}$ باشد، حدود برای $\alpha > 1.5 \text{ mrad}$ در جدول ۴ و ۷ به کار می‌روند.

- ت- چشمه‌های ظاهری غیریکنواخت، غیردایره‌ای و چندگانه
برای مقایسه با حدود گرمایی شبکه، اگر:
- گستره طول موجی از 400 nm تا 1400 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 از حد زاویه‌ای α آن ناحیه و
- AEL مربوطه

بیشینه است.

حد زاویه‌ای یک چشمه مستطیل شکل یا خطی به وسیله 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 به‌کار رود.

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 محدودکننده هستند، گسیل قابل دسترس باید برای چشمه ظاهری جزئی که مقدار بیشینه گسیل را ایجاد می‌کند تعیین شود.

ث- زمان‌های مینا:

زمان‌های مینای 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 لیزر در تمام طول موج‌های بیشتر از ۴۰۰ nm به‌جز موارد ذکر شده در (۱) و (۳)

۳) ۳۰۰۰۰ نانومتره برای تابش لیزردر تمام طول موجهای کوچکتر یا مساوی ۴۰۰ nm و برای تابش لیزردر طول موجهای بزرگتر از ۴۰۰ nm که مشاهده طولانی مدت عمدی به طور ذاتی در طراحی یا عملکرد محصول لیزری گنجانده شده باشد.

هر مدت زمان گسیل ممکن در زمان مبناباید هنگام تعیین طبقه بندی یک محصول توصیف شده باشد. به این معنی که تراز گسیل تک تپ باید با AEL به کار گرفته شده در مدت زمان تپ و غیره مقایسه شود. تنها میانگین گیری تراز گسیلی برای مدت زمان مبنای طبقه بندی، یا صرفاً انجام ارزشیابی برای مقدار زمان مبنای بدون در نظر گرفتن مدت زمان های گسیل کوتاه تر کافی نیست.

یادآوری ۷- برای گسیل چند طول موجی محصول لیزری، با گسیل در نواحی طیفی مرئی و نامرئی که در آن گسیل به عنوان افزودنی (جدول ۲) ارزیابی شده است و جایی که بخش مرئی در آن خود را به عنوان طبقه ۲ یا 2M یا 3R طبقه بندی کرده و بخش نامرئی که در آن خود را به عنوان طبقه ۱ یا 1M طبقه بندی می کند، زمان مبنای برای ارزیابی گسیل اضافه شده ممکن است حتی برای بخش نامرئی ۰/۲۵ ثانیه باشد.

ج- لیزرهای مدوله شده یا تپی تکرار پذیر

روش های زیر باید برای تعیین طبقه محصول لیزری و به کار گیری به عنوان گسیل مدوله شده یا تپی تکرار پذیر استفاده شوند.

به عنوان یک الزام عمومی، گسیل قابل دسترس گروهی از تپها (یا زیر گروهی از تپها در قطار تپ) که در زمانی معین ارسال شده اند (زیر بند 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 طول موجها الزامات (۱) و (۲) باید ارزیابی شوند. علاوه بر این برای طول موجهایی 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 3B مورد ارزیابی قرار گیرد.

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

(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 می شود. (به زیر بند 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 T برای تعیین α_{max} و زاویه پذیرش γ_{th} می شود. (به زیر بند ۵-۴-۳-ب و جدول ۹ رجوع شود).

برای طرح‌های تپ غیرمنظم (از جمله انرژی‌های تپ متنوع)، T بین T_i (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_T به‌عنوان 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 (جدول ۳ تا ۸) است.

و N تعداد تپ موثر در قطار تپ در مدت زمان گسیل ارزیابی شده است. (هنگامی که تپ‌ها در T_i (جدول ۲) رخ داده، N کمتر 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 رجوع شود) یا زمان مبنا کاربردی است، هر کدام که کوتاهتر باشد.

در اینجا C_5 تنها برای مدت زمان‌های تپ مستقل کوچکتر یا مساوی ۰٫۲۵ ثانیه است.

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

برای زمان مبنای کوچکتر یا مساوی ۰٫۲۵ ثانیه، $C_5 = 1$

برای زمان مبنای بزرگتر از ۰٫۲۵ ثانیه،

اگر $N \leq 600$ ، $C_5 = 1$ است.

اگر $N > 600$ ، $C_5 = 5N^{-0.25}$ با یک کمینه مقدار $C_5 = 0.4$ است.

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

برای $5 \text{ mrad} < \alpha$ ، $C_5 = 1$ است.

برای $\alpha_{max} \ll 5$:

اگر $N \leq 40$ ، $C_5 = 5N^{-0.25}$ است.

اگر $N > 40$ ، $C_5 = 0.4$ است.

برای $\alpha_{max} > 5$:

اگر $N \leq 625$ ، $C_5 = 5N^{-0.25}$ است.

اگر $N > 625$ ، $C_5 = 0.2$ است.

مگر اینکه $\alpha > 100 \text{ mrad}$ که در آن در تمامی موارد $C_5 = 1$ 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 AEL باشد که برای عملکرد CW در همان توان قله با استفاده از همان زمان مبنای کار می‌رود. تحت این شرایط، ممکن است AEL برای عملکرد حالت CW استفاده شود.

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

T_i s	طول موج nm
5×10^{-6}	$400 \leq \lambda < 1050$
13×10^{-6}	$1050 \leq \lambda < 1400$
10^{-3}	$1400 \leq \lambda < 1500$
۱۰	$1500 \leq \lambda < 1800$
10^{-3}	$1800 \leq \lambda < 2600$
10^{-7}	$2600 \leq \lambda \leq 10^6$

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 α بزرگتر 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

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

گسیل ممکن است در نهایت تحت مجموعه استانداردهای IEC 62471 «ایمنی فوئوتوبیولوژیکی لامپ‌ها و سیستم‌های روشنایی» ارزشیابی شود.

برای محاسبه L_T ، حد زاویه‌ای α در واحد رادیان بیان شده و در فاصله ۲۰۰mm از نزدیکترین نقطه قابل دسترس انسان تعیین می‌شود. مقدار α در تشریح L_T به مقادیر بین ۰٫۱۰۵rad و ۰٫۱rad محدود می‌شود، به طوری که برای چشمه‌هایی که در زاویه ۰٫۱۰۵rad محدود شده‌اند، مقیاس کاربردی تابندگی برابر $\text{MW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ و برای چشمه‌هایی که بزرگتر از ۰٫۱rad هستند مقیاس کاربردی تابندگی برابر $10 \text{ MW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 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 به کار 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 به جز 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 لیزر قابل دسترسی از چنین محصولی در حین عملکرد وجود نداشته باشد، به غیر از موارد ذکر شده در بالا که تحت استاندارد IEC 62471 ارزشیابی شده‌اند، می‌تواند یک محصول لیزری طبقه ۱ در نظر گرفته شود. 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 طول‌موج‌های زیر ۴۰۰nm یا بالای ۱۴۰۰nm در طبقه‌بندی محصول تحت این استاندارد در نظر 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 در نظر گیرند. الزامات کاربردی ویژه ممکن است آزمون‌های بیشتری را تحمیل کنند. برای راهنمایی بیشتر در مورد اندازه‌گیری‌ها، به استاندارد IEC/TR 60825-13 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 تک‌اشکال قابل پیش‌بینی منطقی انجام شوند. به هر حال، اگر گسیل به ترازوی زیر *AEL* توسط کاهش خودکار در مدت زمانی که میزان دسترسی انسان قابل پیش‌بینی منطقی نیست کاهش یابد، نیاز به در نظر 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 همان‌طور که در استاندارد IEC 61508 توصیف شده است در جایی که ترازهای یکپارچگی ایمنی (SIL)^۱ مشخص شده‌اند، علاوه بر مشخص کردن ترازهای (SIL)، زمان‌های واکنش به‌اشکال نیز لازماًست برای طراحی کاهش به‌طور خودکار، تعیین شوند؛ زمان واکنش مورد نظر می‌تواند بر اساس ریسک باشد. تحلیل کامل بر طبق استاندارد IEC 61508 یا با استفاده از استاندارد IEC 61508 مورد نیاز نیست.

تحلیل ریسک ممکن است برای کمک به تعیین شرایط تک‌اشکال قابل پیش‌بینی منطقی، استفاده شود. برای تعیین این که یک شرط تک‌اشکال، قابل پیش‌بینی منطقی در نظر گرفته می‌شود یا خیر، باید هر دو احتمال (فرکانس) برای اشکالو همچنین ریسک برای آسیب (احتمال پرتوگیری تا تراز می‌شود که بتواند منجر به ایجاد آسیب و تشدید آن شود) در نظر گرفته شود. هرچه ریسک برای آسیب حاصل از یک اشکال معین کمتر باشد، قابلیت پذیرش اشکال می‌تواند بیشتر باشد (که در یک تراز گسیل معین حاصل می‌شود) و برای طبقه‌بندی در نظر گرفته نشود. یک حالت قابل قبول تحلیل احتمال و ریسک با توجه به خطاها، *FMEA* (حالت خطا و تحلیل اثر) است و روش‌های اجرایی آن در استاندارد IEC 61508 توصیف شده‌اند.

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

یادآوری ۲- برای مثال، یک حفاظ روبروشی 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 در حالت 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 تک‌اشکال 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 تک‌اشکال، با ورود سازوکارهای دست‌کاری باریکه به صورت خودکار یا دیگر سازوکارها، یا استفاده از قطعات اپتیکی یا قطعات کاری که موجب قرار گرفتن انرژی به‌طور مستقیم بر روی سطح بدنه محافظ می‌شود، یکی از حالت‌های زیر باید رخ دهد:

- تک‌اشکال 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 به عمل آید.

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

یادآوری ۵- به این علت است که طبقه‌بندی بدون در نظر 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 انسان را در نظر 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 روش‌های معادل 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 به وضوح در یک طبقه خاص قرار می‌دهد، لازم نیستند (با این حال اصول ارائه شده در الف) تا جایی که نیاز به بررسی دارند).

اندازه‌گیری‌ها باید تحت شرایط و روش‌های اجرایی زیر انجام شوند.

الف- شرایط و روش‌هایی اجرایی که 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 به صورت 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 می‌باشند. 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 طبقه‌بندی 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.

۵-۳ تعیین طبقه محصول لیزری

حدود *AEL* طبقه ۱ و 1M در 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 ۸ ارائه شده‌اند. ضرایب تصحیح C_1 تا C_7 و نقاط انفصال 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 طول موجی ۱۸۰ nm تا ۱ mm به کار برده می‌شود. طبقه 1M برای گستره طول موجی ۳۰۲/۵ nm تا ۴۰۰۰ nm به کار 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 طول موج‌های 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.

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 IM است.

اگر گسیل قابل دسترس *AEL* طبقه 3B که با روزه‌ای 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/عنیه 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 عنیه را ممکن می‌سازد. آسیب قرنیه ممکن است تحت این شرایط برای طول‌موج‌های بزرگتر از ۱۰۰۰ nm نیز ممکن باشد.

ب- طبقه 1C

طبقه 1C در صورتی بکار می‌رود که تابش لیزر برای استفاده در حالت تماسی با هدف مورد نظر بوده و دارای حفاظت جهت 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 استاندارد IEC 60601 یا IEC 60335 در 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 به‌طور 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 1C به‌طور 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 و 2M برای گستره طول موجی nm ۴۰۰ تا nm ۷۰۰ 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 1M تجاوز نماید (به قسمت الف- که در بالا ذکر شده رجوع شود) و

- کوچکتر یا مساوی *AEL* طبقه ۲ برای شرط ۱ و شرط ۳ باشد، بنابراین محصول لیزری در طبقه ۲ در نظر گرفته می‌شود.

اگر گسیل 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 ۱ باشد؛ و

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

- کوچکتر از *AEL* طبقه ۲ برای شرط ۳ باشد،

بنابراین محصول لیزری در طبقه 2M در 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 2M است.

اگر گسیل قابل دسترس *AEL* طبقه 3B که با روزه‌ای با قطر mm ۳/۵ 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/عنسیه باید ارائه شود. (به زیربند ۷-۱۳ رجوع 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 عنسیه را ممکن می‌سازد.

خارج از گستره طول موجی nm ۴۰۰ تا nm ۷۰۰ هر گسیل اضافی از لیزرهای طبقه ۲ باید زیر حد *AEL* طبقه ۱ باشد. (به زیربند ۴-۳-ث برای زمان مبنار جوع شود). علاوه بر این، اگر طول موج‌ها 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، همان‌طور که مطابق با زیربند ۵-۴ تعیین شده برای شرط ۱ و شرط ۳،

- کوچکتر یا مساوی *AEL* طبقه 3R باشد، 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 روزه‌ای 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 ۷-۱۳ رجوع شود).

یادآوری ۶-ممکن است محصول لیزری طبقه 3R 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 باعث آسیب پوست یا عنبیه شود. آسیب قرنیه ممکن است تحت این شرایط برای طول موج‌های بزرگتر از ۱۰۰۰ nm نیز اتفاق افتد.

ث- طبقه 3B

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

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

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

ج- طبقه ۴

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

جدول ۳- حدود گسیل قابل دسترس برای محصولات لیزری طبقه ۱ و طبقه 1M و $C_6^{a,b} = 1$

مدت زمان گسیل t											طول موج λ nm	
S												
$3 \times 10^{-2} \text{ تا } 10^{-4}$	$10^{-2} \text{ تا } 10^{-3}$	$10 \text{ تا } 10^{-2}$	$10 \text{ تا } 0,35$	$10 \text{ تا } 0,35 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-1}, 3 \text{ تا } 1 \times 10^{-5}$	$5 \text{ تا } 10^{-6}$ $1,3 \times 10^{-5}$	$10 \text{ تا } 10^{-7}$ 5×10^{-6}	$10^{-1} \text{ تا } 10^{-9}$	$10^{-1} \text{ تا } 10^{-11}$	$10^{-1} \text{ تا } 10^{-13}$	$30,25 \text{ تا } 180$	
$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$									$3 \times 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$30,25 \text{ تا } 180$	
$7,9 \times 10^{-7} C_r J$			خطرات گرمایی $(t \leq T_i) 7,9 \times 10^{-7} C_r J$				خطرات فوتوشیمیایی $7,9 \times 10^{-7} C_r J (t > T_i)$			$2,4 \times 10^4 \text{ W}$		$315 \text{ تا } 30,25$
$7,9 \times 10^{-6} \text{ W}$ $7,9 \times 10^{-7} \text{ J}$							$7,9 \times 10^{-7} C_r J$					
$3,9 \times 10^{-5} C_r W$		$3,9 \times 10^{-7} \text{ J}$	$7 \times 10^{-4} t^{1/5} \text{ J}$				$7,7 \times 10^{-8} \text{ J}$			$3,8 \times 10^{-8} \text{ J}$		$450 \text{ تا } 400$
		$3,9 \times 10^{-7} C_r J$										$500 \text{ تا } 450$
		$3,9 \times 10^{-7} \text{ W}$										$700 \text{ تا } 500$
$3,9 \times 10^{-7} \text{ W}$		$7 \times 10^{-7} t^{1/5} C_r J$				$7,7 \times 10^{-8} C_r J$			$3,8 \times 10^{-8} \text{ J}$		$1050 \text{ تا } 700$	
$3,9 \times 10^{-7} C_r C_r W$		$3,5 \times 10^{-7} t^{1/5} C_v J$				$7,7 \times 10^{-8} C_v J$			$3,8 \times 10^{-8} C_v J$		$1400 \text{ تا } 1050^d$	
$1 \times 10^{-7} \text{ W}$		$10^{-7} t \text{ J}$	$4,4 \times 10^{-7} t^{1/25} \text{ J}$			$8 \times 10^{-7} \text{ J}$			$8 \times 10^{-5} \text{ W}$		$1500 \text{ تا } 1400$	
		$1,8 \times 10^{-7} t^{1/5} \text{ J}$	$8 \times 10^{-7} \text{ J}$				$8 \times 10^{-5} \text{ W}$			$1800 \text{ تا } 1500$		
		$10^{-7} t \text{ J}$	$4,4 \times 10^{-7} t^{1/25} \text{ J}$			$8 \times 10^{-7} \text{ J}$			$8 \times 10^{-5} \text{ W}$		$2600 \text{ تا } 1800$	
			$10^{-7} t \text{ J}$	$4,4 \times 10^{-7} t^{1/25} \text{ J}$		$8 \times 10^{-5} \text{ J}$			$8 \times 10^{-4} \text{ W}$		$4000 \text{ تا } 2600$	
$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$5600 t^{1/25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$10^6 \text{ تا } 4000$	

یادآوری - محصولات لیزری که الزامات طبقه‌بندی به‌عنوان طبقه ۱ را برآورده می‌سازند از طریق تامین اندازه‌گیری شرط ۱ که ممکن است به هنگام استفاده از ابزار اپتیکی دارای بزرگنمایی بیشتر از ۷ برابر یا قطره‌های 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^{-12} ثانیه برابر با توان یا چگالی شار تابشی معادل AEL در 10^{-12} ثانیه در نظر گرفته می‌شوند.

^c در گستره طول موجی بین 450 nm و 500 nm محدود دوگانه‌ای به کار می‌رود و گسیل محصول نباید از هریک از دو حد قابل کاربرد برای طبقه اختصاص داده شده تجاوز نماید.

^d در گستره طول موجی بین 1250 nm و 1400 nm مقدار بالای AEL به مقدار AEL برای طبقه 3B محدود می‌شود.

جدول ۴- حدود گسیل قابل دسترس برای محصولات لیزری طبقه ۱ و 1M در گستره طول موجی از ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm

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

مدت زمان گسیل t						طول موج λ nm
s						
3×10^{-4} تا 10^{-4}	10^{-4} - 10^{-2}	10^{-2} تا 10^{-1}	10^{-5} تا $1/3 \times 10^{-6}$	10^{-5} تا 5×10^{-6}	10^{-11} تا 5×10^{-10}	10^{-13} تا 10^{-11}
خطرات فوتوشیمیایی شبکیه ای ^{d,e} - ۴۰۰nm تا ۶۰۰nm						۴۰۰ تا ۷۰۰
$3.9 \times 10^{-5} C_p W$ با استفاده از $\gamma_{ph} = 110 \text{ mrad}$	با استفاده $3.9 \times 10^{-5} C_p W$ از $\gamma_{ph} = 1/1 t^{0.5} \text{ mrad}$	$3.9 \times 10^{-7} C_p J$ با استفاده از $\gamma_{ph} = 11 \text{ mrad}$	$7 \times 10^{-4} t^{1/5} C_p J$			
c						
خطرات گرمایی شبکیه ای - ۴۰۰nm تا ۷۰۰nm						
$7 \times 10^{-4} C_p T_r^{-1/5} W (t > T_r)$			$7 \times 10^{-4} C_p T_r^{-1/5} W (t > T_r)$			۷۰۰ تا ۱۰۵۰
$(t \leq T_r) 7 \times 10^{-4} t^{1/5} C_p J$			$7 \times 10^{-4} t^{1/5} C_p C_p J$			
$7 \times 10^{-4} C_p C_p T_r^{-1/5} W (t > T_r)$			$7 \times 10^{-4} C_p C_p J$			
$(t \leq T_r) 7 \times 10^{-4} t^{1/5} C_p C_p J$			$7 \times 10^{-4} t^{1/5} C_p C_p J$			1400 تا 1050^d
$3.5 \times 10^{-7} C_p C_p T_r^{-1/5} W (t > T_r)$			$3.5 \times 10^{-7} C_p C_p J$			
<p>یادآوری - محصولات لیزری که الزامات طبقه بندی به عنوان طبقه ۱ را برآورده می سازند از طریق تامین اندازه گیری 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.</p> <p>^a برای ضرایب تصحیح و واحدها، به جدول ۹ مراجعه کنید.</p> <p>^b مقادیر AEL برای مدت زمان های گسیل کمتر از 10^{-13} ثانیه برابر با توان یا چگالی شار تابشی معادل AEL در 10^{-13} ثانیه در نظر گرفته می شوند.</p> <p>^c در گستره طول موجی بین ۴۰۰nm و ۶۰۰nm، حدود دوگانه ای به کار می روند و گسیل محصول نباید از هر یک از دو حد قابل کاربرد برای طبقه اختصاص داده شده تجاوز نماید.</p> <p>^d زاویه γ_{ph}، زاویه اندازه گیری شده محدود کننده پذیرش است.</p> <p>^e اگر زمان های پرتوگیری بین ۱ s و ۱۰ s استفاده شوند، برای طول موج های بین ۴۰۰nm تا ۴۸۰nm و برای اندازه های چشمه ظاهری بین ۱/۵mrad و ۸۲mrad حدود دوگانه خطر فوتوشیمیایی $C_p J^{-1}$ افزایش می یابد.</p> <p>^f در گستره طول موجی بین ۱۲۵۰nm و ۱۴۰۰nm، مقدار بالای AEL به مقدار AEL برای طبقه 3B محدود می شود.</p>						

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

طول موج λ nm	مدت زمان گسیل t s	AEL طبقه ۲
۴۰۰ تا ۷۰۰	$t < 0,25$ $t \geq 0,25$	مشابه AEL طبقه ۱ $C_p \times 10^{-3} W^a$
<p>یادآوری- محصولات لیزری که الزامات طبقه بندی به عنوان طبقه ۲ را برآورده می سازند از طریق تامین اندازه گیری 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).</p> <p>^a برای ضرایب تصحیح و واحدها، به جدول ۹ مراجعه کنید.</p>		

جدول ۶- حدود گسیل قابل دسترس برای محصولات لیزری طبقه 3R و $C_6^{a,b,c} = 1$

مدت زمان گسیل t								طول موج λ nm	
s									
3×10^4 تا 10^3	10 تا 10^3	10 تا 0.35	0.135 تا 10^{-3}	1×10^{-1} تا 1.3×10^{-5}	1.3×10^{-5} تا 10^{-6}	10^{-7} تا 5×10^{-6}	10^{-10} تا 10^{-9}	10^{-11} تا 10^{-9}	10^{-13} تا 10^{-11}
$150 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$								$1.5 \times 10^{11} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	۳۰۲٫۵ تا ۱۸۰
$4 \times 10^{-6} \text{ C}_p \text{ J}$	خطرات فوتوشیمیایی $4 \times 10^{-6} \text{ C}_p \text{ J} (t > T_1)^c$ خطرات گرمایی $4 \times 10^{-6} \text{ C}_p \text{ J} (t \leq T_1)^c$							$1.2 \times 10^5 \text{ W}$	۳۱۵ تا ۳۰۲٫۵
	$4 \times 10^{-3} \text{ W}$	$4 \times 10^{-2} \text{ J}$	$4 \times 10^{-6} \text{ C}_p \text{ J}$						
$5 \times 10^{-2} \text{ W}$	$5 \times 10^{-2} \text{ W}$ ($t \geq 0.25 \text{ s}$) ($t < 0.25 \text{ s}$) $3.5 \times 10^{-2} t^{0.75} \text{ J}$			$3.8 \times 10^{-7} \text{ J}$			$1.9 \times 10^{-7} \text{ J}$	۷۰۰ تا ۴۰۰	
	$2 \times 10^{-2} \text{ C}_p \text{ C}_v \text{ W}$	$3.5 \times 10^{-2} t^{0.75} \text{ C}_p \text{ J}$			$3.8 \times 10^{-7} \text{ C}_p \text{ J}$			$1.9 \times 10^{-7} \text{ J}$	۱۰۵۰ تا ۷۰۰
$1.8 \times 10^{-2} t^{0.75} \text{ C}_p \text{ J}$			$3.8 \times 10^{-6} \text{ C}_p \text{ J}$			$1.9 \times 10^{-6} \text{ C}_p \text{ J}$	۱۴۰۰ تا ۱۰۵۰ ^d		
$5 \times 10^{-2} \text{ W}$	$5 \times 10^{-2} t \text{ J}$	$2.2 \times 10^{-2} t^{0.75} \text{ J}$	$4 \times 10^{-2} \text{ J}$				$4 \times 10^6 \text{ W}$	۱۵۰۰ تا ۱۴۰۰	
	$9 \times 10^{-2} t^{0.75} \text{ J}$	$4 \times 10^{-2} \text{ J}$					$4 \times 10^7 \text{ W}$	۱۸۰۰ تا ۱۵۰۰	
	$5 \times 10^{-2} t \text{ J}$	$2.2 \times 10^{-2} t^{0.75} \text{ J}$	$4 \times 10^{-2} \text{ J}$				$4 \times 10^6 \text{ W}$	۲۶۰۰ تا ۱۸۰۰	
	$5 \times 10^{-2} t \text{ J}$	$2.2 \times 10^{-2} t^{0.75} \text{ J}$				$4 \times 10^{-2} \text{ J}$	$4 \times 10^5 \text{ W}$	۴۰۰۰ تا ۲۶۰۰	
$500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$2.8 \times 10^4 t^{0.75} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$					$500 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{11} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	10^6 تا ۴۰۰۰	

^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 در نظر گرفته می‌شوند.

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

^d در گستره طول موج بین 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 طول موجی از ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm

(ناحیه خطر شبکیه): چشمه‌های گسترده^{a,b}

مدت زمان گسیل t					طول موج λ nm
s					
3×10^{-4} تا 10^{-4}	۱۰ تا ۰٫۲۵	$1,3 \times 10^{-5}$ تا $0,25 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-5}$ تا 5×10^{-6}	5×10^{-11} تا 10^{-11}	10^{-13} تا 10^{-10}
$5 \times 10^{-7} C_p W$	$5 \times 10^{-7} C_p W$ $(t \geq 0,25 \text{ s})$ $3,5 \times 10^{-7} t^{0,75} C_p J$ $(t < 0,25 \text{ s})$		$3,8 \times 10^{-7} C_p J$	$1,9 \times 10^{-7} C_p J$	۷۰۰ تا ۴۰۰
$3,5 \times 10^{-7} C_p C_f T_r^{-0,75} W$ $(t > T_r)$ $(t \leq T_r)$ $3,5 \times 10^{-7} t^{0,75} C_p C_f J$	$3,5 \times 10^{-7} t^{0,75} C_p C_f J$		$3,8 \times 10^{-7} C_p C_f J$	$1,9 \times 10^{-7} C_p J$	۱۰۵۰ تا ۷۰۰
$1,75 \times 10^{-7} C_p C_f T_r^{-0,75} W$ $(t > T_r)$ $(t \leq T_r)$ $1,75 \times 10^{-7} t^{0,75} C_p C_f J$	$1,8 \times 10^{-7} t^{0,75} C_p C_f J$	$3,8 \times 10^{-6} C_p C_f J$		$1,9 \times 10^{-6} C_p C_f J$	۱۴۰۰ تا ۱۰۵۰ ^c
^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 معادل AEL در 10^{-13} ثانیه در نظر گرفته می‌شوند. ^c در گستره طول موج بین ۱۲۵۰ nm و ۱۴۰۰ nm، مقدار بالای AEL به مقدار AEL برای طبقه 3B محدود می‌شود.					

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

مدت زمان گسیل t s			طول موج λ nm
0.25 تا 3×10^4	10^{-9} تا 0.25	$< 10^{-9}$	
$1.5 \times 10^{-3} W$	$3.8 \times 10^{-4} J$	$3.8 \times 10^5 W$	۱۸۰ تا ۳۰۲٫۵
$5 \times 10^{-5} C_F W$	$1.25 \times 10^{-5} C_F J$	$1.25 \times 10^6 C_F W$	۳۰۲٫۵ تا ۳۱۵
$0.5 W$	$0.125 J$	$1.25 \times 10^8 W$	۳۱۵ تا ۴۰۰
$0.5 W$	لبرای $t < 0.06 s$ 0.3 $t \geq 0.06 s$ $0.5 W$	$3 \times 10^7 W$	۴۰۰ تا ۷۰۰
$0.5 W$	$t < 0.06 C_F s$ 0.3 برای $C_F J$ $t \geq$ $0.06 C_F s$ 0.5 برای W	$3 \times 10^7 C_F W$	۷۰۰ تا ۱۰۵۰
$0.5 W$	$0.15 J$	$1.5 \times 10^8 W$	۱۰۵۰ تا ۱۴۰۰
$0.5 W$	$0.125 J$	$1.25 \times 10^8 W$	۱۴۰۰ تا 10^6

^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

گستره طیفی (nm)	پارامتر
۴۰۰ تا ۱۸۰	$C_1 = 5,6 \times 10^{-3} t^{-1/25}$
۳۱۵ تا ۳۰۲,۵	$T_1 = 10^{-1} \cdot 10^{0,8(\lambda-295)} \times 10^{-15} s$
۳۰۲,۵ تا ۱۸۰	$C_r = 30$
۳۱۵ تا ۳۰۲,۵	$C_r = 10^{-1} \cdot 10^{0,2(\lambda-295)}$
۱۴۰۰ تا ۴۰۰	$\alpha_{min} < \alpha \leq 100 \text{ mrad}$ برای $T_r = 10 \times 10^{[(\alpha-\alpha_{min})/98/5]} s$
۱۴۰۰ تا ۴۰۰	$\alpha \leq 1/5 \text{ mrad}$ برای $T_r = 10 s$
۱۴۰۰ تا ۴۰۰	$\alpha > 100 \text{ mrad}$ برای $T_r = 100 s$
۴۵۰ تا ۴۰۰	$C_r = 1$
۶۰۰ تا ۴۵۰	$C_r = 10^{-1} \cdot 10^{0,2(\lambda-450)}$
۱۰۵۰ تا ۷۰۰	$C_f = 10^{-1} \cdot 10^{0,2(\lambda-700)}$
۱۴۰۰ تا ۱۰۵۰	$C_f = 5$
۱۸۰ تا ۴۰۰ و ۱۴۰۰ تا ۱۰۶	$C_d = 1$
۱۴۰۰ تا ۴۰۰	$C_d = N^{-1/4a}$
۱۸۰ تا ۴۰۰ و ۱۴۰۰ تا ۱۰۶	$C_e = 1$
۱۴۰۰ تا ۴۰۰	$\alpha \leq \alpha_{min}^b$ برای $C_e = 1$
۱۴۰۰ تا ۴۰۰	$\alpha_{min} < \alpha \leq \alpha_{max}^b$ برای $C_e = \alpha / \alpha_{min}$
۱۴۰۰ تا ۴۰۰	$\alpha > \alpha_{max}^{b,c}$ برای $C_e = \alpha_{max} / \alpha_{min}$
۱۱۵۰ تا ۷۰۰	$C_v = 1$
۱۲۰۰ تا ۱۱۵۰	$C_v = 10^{-1} \cdot 10^{0,18(\lambda-1150)}$
۱۴۰۰ تا ۱۲۰۰	$C_v = 8 + 10^{-1} \cdot 10^{0,4(\lambda-1250)}$
$\alpha_{min} = 1/5 \text{ mrad}$ $\alpha_{max} = 5 \text{ mrad}$ برای $t < 625 \mu s$ $200 t^{-1/5} \text{ mrad}$ برای $625 \mu s \leq t \leq 0,25 s$ 100 mrad برای $t > 625 \mu s$	
<p>N تعداد تپ‌های موجود در مدت زمان کاربردی است. ((۴-۳) و بند الف-۳)</p> <p>یادآوری ۱- تنها شواهد محدودی در مورد اثرات پرتوگیری‌های کمتر از $10^{-9} s$ برای طول‌موج‌های کمتر از 400 nm و بزرگتر از 1400 nm 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 به کار رفته در $10^{-9} s$ برای طول‌موج‌های کمتر از 400 nm و بزرگتر از 1400 nm به دست می‌آیند.</p> <p>یادآوری ۲- به جدول ۱۰ برای روزه‌بندها و جدول الف-۴ برای روزه‌های محدودکننده مراجعه کنید.</p> <p>یادآوری ۳- در فرمول، در جدول‌های ۳ تا ۸ و در این یادداشت‌ها، طول موج باید در واحد نانومتر، مدت زمان گسیل باید در واحد ثانیه و α باید در واحد میلی‌راد بیان شوند.</p> <p>یادآوری ۴- برای مدت زمان‌های گسیل که در مقادیر مرزی سلول قرار می‌گیرند (برای مثال $10 s$) در جدول‌های ۳ تا ۸، حدود پایین‌تر به کار می‌روند. جایی که در آن نماد "$<$" استفاده می‌شود، به معنی کمتر از یا مساوی با است. زمانی که گستره‌های طول‌موج مشخص هستند، گستره طول موج λ_1 تا λ_2 به معنی $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2$ است.</p>	

جدول ۹- ادامه

<p>^a ضریب C_d فقط برای مدت زمان تپ کمتر از 0.25 s به کار می‌رود.</p> <p>^b ضریب C_e فقط برای حدود گرمایی شبکه به کار می‌رود.</p> <p>^c بیشینه زاویه محدودکننده پذیرش γ_{th} باید مساوی با α_{max} باشد. (اما به زیربند ۴-۳-پ مراجعه کنید.)</p>
--

۴-۵ هندسه اندازه‌گیری

۴-۵-۱ کلیات

دو شرط اندازه‌گیری برای تعیین گسیل قابل دسترس مشخص شده‌اند. شرط ۱ برای طول موج‌هایی به کار می‌رود که در آن مشاهده با کمک اپتیک بزرگ کننده انجام می‌شود، امکان خطر را افزایش می‌دهد. شرط ۳ برای چشم غیرمسلح به کار 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 همان‌گونه که 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 را که 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، هر کدام 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 شبکه‌ای از 400 nm تا 1400 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 AEL مربوطه) 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 گسترده‌گی 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 شبکه‌ای برای مقادیر زمان مبنایی بیشتر 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 شبکه‌ای 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 ۳		شرط ۲	شرط ۱		
برای تعیین تابش مربوط به چشم حفاظت نشده، برای ذره‌بین‌های کم توان و برای باریکه‌های روبشی به کار می‌رود.		قابل اعمال برای سامانه‌های مخابرات فیبر نوری، به استاندارد IEC 60825-2 مراجعه کنید.	برای باریکه موازی شده، جایی که به عنوان مثال، تلسکوپ یا دوربین دوچشمی ممکن است خطر را افزایش دهند به کار می‌رود ^a		
فاصله mm	روزنه‌بند/ روزنه محدودکننده mm	روزنه‌بند mm فاصله mm	فاصله mm	روزنه‌بند mm	طول موج nm
۰	۱		—	—	<۳۰۲٫۵
۱۰۰	۱		۲۰۰۰	۷	۳۰۲٫۵ تا ≥۴۰۰
۱۰۰	۷	به یادآوری ۱ زیربند ۱-۴-۵ مراجعه کنید.	۲۰۰۰	۵۰	۴۰۰ تا ≥۱۴۰۰
۱۰۰	برای $t \leq ۰٫۳۵$ S $۰٫۳۵ S < t < ۱۰ S$ برای $t \geq ۱٫۵ t^{۳/۸}$ برای $۱۰ S$ $۳/۵$	به یادآوری ۱ زیربند ۱-۴-۵ مراجعه کنید.	۲۰۰۰	۷ × شرط ۳	۴۰۰۰ تا ≥۱۴۰۰
۰	برای $t \leq ۰٫۳۵$ S $۰٫۳۵ S < t < ۱۰ S$ برای $t \geq ۱٫۵ t^{۳/۸}$ برای $۱۰ S$ $۳/۵$		—	—	۴۰۰۰ تا ≥۱۰ ^۵
۰	۱۱		—	—	۱۰ ^۵ تا ≥۱۰ ^۶
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، به کار نمی‌رود.					

جدول ۱۱- نقاط مرجع برای شرط ۳

نقاط مرجع	نوع محصول
موقعیت فیزیکی تراشه گسیل کننده	گسیلنده‌های نیمه‌هادی (مانند دیودهای لیزری، دیودهای بسیار نورانی ^۱)
راس روبش (نقطه محوری باریکه روبشی)	گسیل روبشی (شامل لیزرهای خطی روبشی)
نقطه کانونی خط (راس زاویه)	لیزر خطی
نوک فیبر	خروجی فیبر
سطح پخش کننده	چشمه‌های به طور کامل پراکنده
کمر باریکه	سایر

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 اندازه‌گیری شده 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 در گستره 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 جفت شده هستند) و مقادیر برای محدودکننده‌ترین موقعیت برای تعیین طبقه محصول به دست 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 اندازه‌گیری چشمه کوچک نیست. در موردی که در آن واگرایی باریکه لیزر کمتر از ۱/۵ mrad است، حد زاویه‌ای چشمه ظاهری α کوچکتر از α_{min} است و تعیین گسیل قابل دسترس ممکن است تحت شرایط مشخص شده در زیربند ۵-۴-۲ انجام شود.

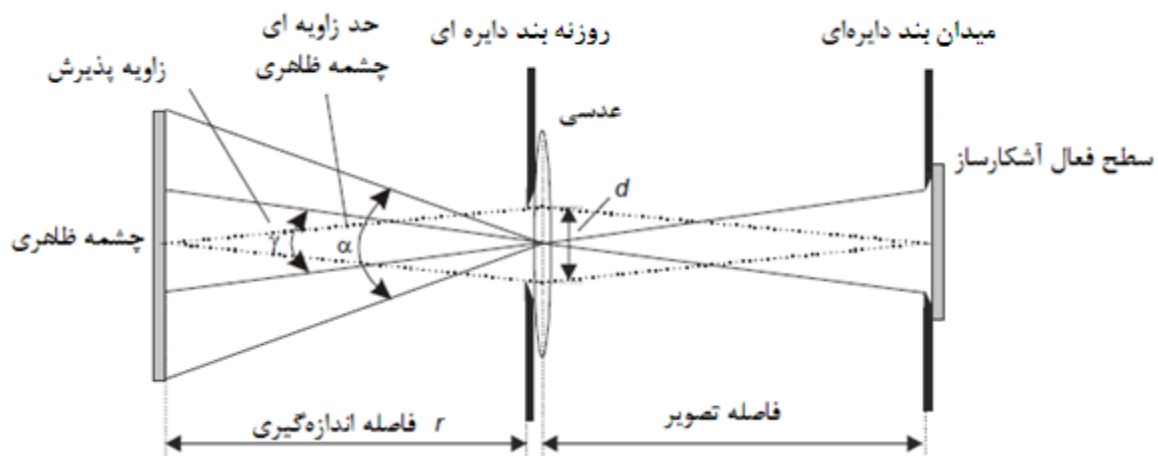
یادآوری ۱- اگر چشمه پراکنده است، برای مثال یک باریکه لیزر فرودی روی صفحه پخش کننده تراگسیلی، بنابراین پخش کننده می تواند به عنوان مکان چشمه ظاهری در نظر گرفته شده و طرح گسیل در پخش کننده می تواند برای تعیین حد زاویه ای چشمه ظاهری (به زیربند ۳-۴- ت رجوع شود)، برای روش ارزشیابی طرح های غیریکنواخت استفاده شود.

یادآوری ۲- در برخی تنظیمات پیچیده تر با چشمه های چندگانه یا نقاط کانونی چندگانه، ممکن است استفاده از روش های جزئی تری مانند ردیابی اشعه، مناسب تر باشد.

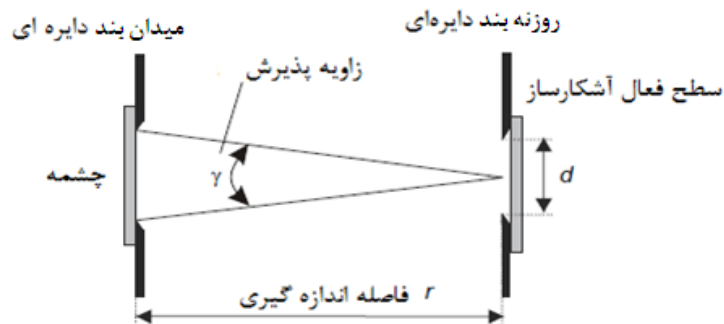
یادآوری ۳- برای محصولات لیزری گسیل کننده یک باریکه روبشی، بسته به شرط مطابق با تصویر چشمه ظاهری، یک باریکه روبشی می تواند در تصویری از چشمه ظاهری نتیجه شود که روبشی را که در شبکه آغاز می کند، در یک چشمه ظاهری متحرک نتیجه می دهد. اگر یک چشمه ظاهری متحرک برای طبقه بندی محاسبه شود، طبقه بندی محصول براساس روش ارزشیابی توصیف شده در اینجا برای چشمه های گسترده (در مقابل تحلیل ساده شده که در آن یک چشمه کوچک ثابت فرض می شود) انجام می شود. چشمه ظاهری متحرک همان طور که در زیربند ۳-۴- ت توصیف شده است با توضیح طبیعت تپ تکرارپذیر گسیل قابل دسترس تعیین شده با زاویه پذیرش مربوطه ارزشیابی می شود.

الف- قطرهای روزنه

برای شرط ۱ و شرط ۳، برای تعیین گسیل قابل دسترس، مانند حد زاویه ای چشمه ظاهری (هر دو که در محدود کننده ترین موقعیت در باریکه تعیین شده اند)، قطرهای روزنه و کمترین فواصل اندازه گیری همانطور که در جدول ۱۰ تعیین شده، باید استفاده شوند. (شکل های ۱ و ۲)



شکل ۱- چیدمان اندازه گیری برای محدود کردن زاویه پذیرش توسط تصویرسازی چشمه ظاهری روی سطح میدان بند



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

شکل ۲- چیدمان اندازه گیری 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 بخش‌های ۱ و ۲ زیر در نظر گرفته شوند. برای شرط ۱، زاویه پذیرش توسط تقسیم مقادیر داده شده در ۱ و ۲ به ضریب γ تعیین می‌شود.

۱) حدود شبکیه‌ای فوتوشیمیایی

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

جدول ۱۲- زاویه پذیرش محدودکننده γ_{ph}

γ_{ph} برای شرط ۳ mrad	γ_{ph} برای شرط ۱ mrad	مدت زمان گسیل s
۱۱	۱٫۶	$10 < t \leq 100$
$1,1t^{1/5}$	$0,16 \times t^{1/5}$	$100 < t \leq 10^4$
۱۱۰	۱۶	$10^4 < t \leq 3 \times 10^4$

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 α کوچکتر 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 شبکه‌ای دیگر

برای اندازه‌گیری تابش در مقایسه با حدود شبکه‌ای 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 α باشد.) با این حال اگر $\alpha > \alpha_{max}$ باشد، زاویه پذیرش محدودکننده α_{max} (۱۰۰ mrad) است. در گستره طول موجی ۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm برای ارزشیابی یک چشمه ظاهری که شامل نقاط چندگانه است، زاویه پذیرش در محدوده $\alpha_{min} < \gamma < \alpha_{max}$ متغیر است. (به زیربند ۳-۴ رجوع شود).

۶ مشخصات مهندسی

۱-۶ 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 ۲-۶ تا ۱۳-۶ 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 برچسب‌گذاری 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.

۲-۶ بدنه محافظ

۱-۲-۶ 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 حد AEI 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 ۶-۱۳ رجوع 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 دريچه‌های دسترسی و قفل‌های همبندی ایمنی

۶-۳-۱ یک 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

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

برداشتن یا باز کردن دریاچه دارای قفل همبندی محصول لیزری طبقه ۱، 1M، 1C، ۲ یا 2M نباید منجر به گسیل افزون بر AEL طبقه 1M یا 2M از مکان باز شده با توجه به طول موج قابل کاربرد شود، مگر در شرایطی که قفل همبندی پس از باز شدن دریاچه غیرفعال شود. برداشتن یا باز کردن یک دریاچه دارای قفل همبندی محصول لیزری طبقه 3R، 3B یا ۴ نباید منجر به گسیل افزون بر AEL طبقه 3R از مکان باز شده شود، مگر آنکه قفل همبندی پس از باز شدن دریاچه غیرفعال شود. طبقه بالاتری از انرژی/توان لیزر می‌تواند از دریاچه 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 طبقه بندی 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 دریاچه 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 کاربردی IEC 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 به کار می‌برند.

۳-۶-۱۲ اگر 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 دریاچه 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) طوری که 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 برجسی مطابق با زیربند ۷-۱۰-۲ به‌طور واضح مرتبط باشد. استفاده از مکانیزم تعلیق باید به‌خطرات شنیداری یا دیداری مشخص به‌هنگام 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 باتری 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 لیزر قابل 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 لیزر نباید 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 3B، 1C و ۴ باید موارد ذیل را در برگیرد.

۶-۷-۲ یک 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.

۶-۷-۳ هر سامانه کنترل‌کننده عملکرد و روزنه لیزر که بتوانند در فاصله ۲ متری یا بیشتر از وسیله هشداردهنده تابش از یکدیگر جدا باشند، باید هر یک 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.

۶-۷-۴ جایی 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 لحظه‌ای که به‌طور مداوم برای اجازه دادن به گسیل تغییر می‌یابد ممکن است به جای نشانگر گسیل 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 کنترل‌ها

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 و ۴ 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^۱

تضعیف‌کننده متغیری که در ابزار اپتیکی مشاهده‌ای، 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 لیزر بیش از حد *AEL* طبقه 1M ممکن شود از باز شدن بستاور یا تغییر تضعیف‌کننده جلوگیری کند.

۱۱-۶ 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).

۱۲-۶ 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 شده در 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.

۱۳-۶ 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 فرسوخ، کافی 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 به کار 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 به کار 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 است منجر به تابش بالای AEL شود به کار 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 جمله‌بندی‌های 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.

نماد و حاشیه: به رنگ سیاه
پس زمینه: به رنگ زرد



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

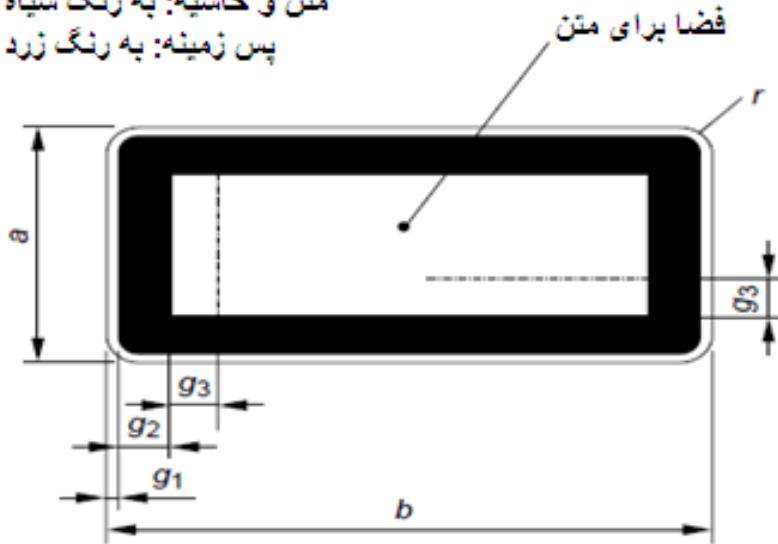
مقادیر ابعاد d و D₁, D₂, D₃ معین شده‌اند.

یادآوری ۱- 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 به کار می‌رود.

یادآوری ۲- این ابعاد مقادیر توصیه شده هستند. تا زمانی که مقادیر متناسب باشند نماد و حاشیه ممکن است در هر اندازه خوانا همان‌طور که متناسب با اندازه محصول لیزری مورد نیاز است، باشند.

شکل ۳- برچسب هشدار- نماد خطر

متن و حاشیه: به رنگ سیاه
پس زمینه: به رنگ زرد



ابعاد بر حسب میلی‌متر

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

ابعاد g₁ معرفی شده است.

یادآوری ۱- 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 به کار می‌رود.

یادآوری ۲- این ابعاد مقادیر توصیه شده هستند. برچسب ممکن است در هر اندازه‌ای در برگیرنده حروف گذاری و حاشیه مورد نیاز باشد. کمینه ابعاد پهنای هر حاشیه g₂ و g₃ باید ۰٫۰۶ برابر طول کوتاهتر از لبه برچسب باشد.

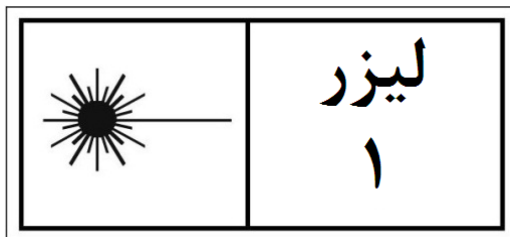
شکل ۴- برچسب توضیحی

۲-۷ 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

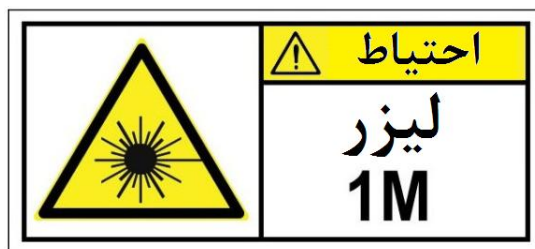
هر محصول لیزری طبقه 1M باید دارای یک برچسب توضیحی الصاق شده (شکل ۴) در برگیرنده این کلمات باشد:

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.

۳-۷ 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

۴-۷ 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 عمده متوالی. اطلاعات جزئی‌تر را در پیوست پ مشاهده کنید.

۷-۵ طبقه 3R

هر محصول لیزری طبقه 3R باید 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

۶-۷ طبقه 3B

هر محصول لیزری طبقه 3B باید 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

۸-۷ برچسب روزنه

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

روزنه لیزر

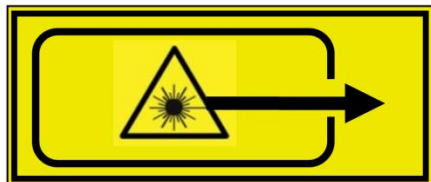
یا

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

۹-۷ خروجی تابش و اطلاعات استاندارد

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

اگر اطلاعات در زیربند ۹-۷ با برچسب‌های موضوع زیربندهای ۲-۷ 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.

۱۰-۷ برچسب‌هایی برای دریچه دسترسی

۱-۱۰-۷ برچسب‌های دریچه‌ها

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

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

الف-

احتیاط - تابش لیزر طبقه 1M هنگام باز شدن

با تلسکوپ به طور مستقیم نگاه نکنید.

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

پ-

احتیاط - تابش لیزر طبقه 2M هنگام باز شدن

به باریکه خیره نشوید یا با تلسکوپ مستقیماً نگاه نکنید.

اگر تابش قابل دسترسی بیش از حد *AEL* مربوط به طبقه 2M جایی که تراز تابش طبق زیربندهای ۵-۳-پ و ۵-۴ اندازه گیری 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 به صورت 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، عبارت بندی 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 به صورت عبارت «تابش لیزر نامرئی» تغییر کند یا اگر خروجی، طول موج‌های درون و بیرون این محدوده طول موجی را در برگیرد، عبارت «تابش لیزر مرئی و نامرئی» به کار می‌رود.

اگر یک محصول براساس تراز تابش لیزر مرئی طبقه بندی 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، همان‌طور که با یک روزنه با قطر mm ۳/۵ که در نزدیک‌ترین نقطه به دسترس انسان قرار گرفته تعیین شده است، از طبقه 3B تجاوز 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 3R رجوع 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 می‌باشد، در صورت لزوم، برای توصیف طبقه‌ها و محدودیت‌های ممکن به پیوست پ رجوع شود.

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:

- طول موج
- 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، $1M$ ، 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 هشدار 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 4. 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 فرض شده برای تعیین این مقادیر نیز باید داده شود. در موارد مناسب و مشخص، برای باریکه موازی شده لیزرهای طبقه 1M و $2M$ ، فاصله اسمی خطر دید گسترده ($ENOHD$)^۱ باید تعیین شود.

یادآوری ۲- اطلاعات خاص روی $NOHD$ به‌طور معمول برای باریکه‌های موازی شده که داخلی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، مورد نیاز نیستند. در این مورد، به‌طور معمول، تنها نشانه‌ای از گستردگی گسترده 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.

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 الصاق شده 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 روزه‌های لیزری که تابش لیزر بیش از *AEL* طبقه ۱ از آن‌ها 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 به‌طور 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 ریسک‌سختگی پوست و قرنیه هستند را فراهم سازد.

ر- استانداردهای دیگر الزامات کاربردی را با توجه به اطلاعات کاربر برای محصولات طبقه C تعیین می‌کنند. مثال‌هایی از اطلاعات مرتبط برای استفاده به‌قرار 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-د) 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

۲-۹ 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 لیزر پزشکی و زیبایی^۱ طبقه 3B یا طبقه ۴ ممکن است در دامنه کاربرد استاندارد ملی ایران آی ای سی ۲۲-۲-۶۰۶۰۱ باشد.

۳-۹ 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 در دامنه کاربرد استاندارد ISO/IEC 11553-1 باشند.

۴-۹ اسباب‌بازی‌های الکتریکی

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

۵-۹ محصولات الکترونیکی مصرفی

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

پیوست الف

(اطلاعاتی)

مقادیر بیشینه پرتوگیری مجاز

الف-۱ کلیات

حدود گسیل قابل دسترس *AEL*ها به طور 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 به طور قابل توجهی *NOHD* را ناچیز در نظر گیرد. به عنوان 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 معمولاً تعیین *NOHD* با اندازه‌گیری‌ها مفید است.

مقادیر پرتوگیری مجاز همان‌طور که در این استاندارد موجود است، از مقادیر حد پرتوگیری که به وسیله 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 به عنوان راهنما در کنترل پرتوگیری‌ها استفاده شده و نباید به عنوان 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 به عنوان 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 به عنوان 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 به عنوان افزودنی با نمادهای «O» برای پرتوگیری چشمی و «S» برای پرتوگیری پوست در قالب جدول ۱ نشان داده شده‌اند. جایی که طول‌موج‌های تابشی به عنوان افزودنی نشان داده نشده‌اند، خطرات باید جداگانه ارزیابی شوند.

جدول الف-۱-بیشینه پرتوگیری مجاز (MPE) برای $C_e=1$ در قرنیه بیان شده به عنوان چگالی انرژی یا چگالی شار انرژی^{a,b}

مدت زمان گسیل st								طول موج λ (nm)	
3×10^{-10} تا 10^{-9}	10^{-9} تا 10^{-7}	10^{-7} تا 10^{-5}	10^{-5} تا 10^{-3}	10^{-3} تا 10^{-1}	10^{-1} تا 10^1	10^1 تا 10^3	10^3 تا 10^5		
$30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$								۳۰۲/۵ تا ۱۸۰	
$C_r \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$C_r \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ (خطر فوتوشیمیایی ($t > T_1$)) ^d						$3 \times 10^{10} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$		۳۱۵ تا ۳۰۲,۵
$10^4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$C_r \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$								۴۰۰ تا ۳۱۵
$C_r \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$100 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$18t^{0.75} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				$2 \times 10^{-2} t^{0.75} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$1 \times 10^{-2} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	۴۵۰ تا ۴۰۰
	$100 C_r$ 10^{-2} و 10^{-1} $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$								۵۰۰ تا ۴۵۰
$10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$								۷۰۰ تا ۵۰۰	
$10 C_r C_r \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$18t^{0.75} C_r \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				$2 \times 10^{-2} t^{0.75} C_r \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$1 \times 10^{-2} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	۱۰۵۰ تا ۷۰۰	
	$90t^{0.75} C_r \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				$2 \times 10^{-2} t^{0.75} C_r \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$		$1 \times 10^{-2} C_r \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	۱۴۰۰ تا ۱۰۵۰ ^e	
$1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$5600t^{0.75} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				$10^{12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$		۱۵۰۰ تا ۱۴۰۰	
	$10^4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				$10^{12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$		۱۸۰۰ تا ۱۵۰۰		
	$5600t^{0.75} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				$10^{12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$		۲۶۰۰ تا ۱۸۰۰	
	$5600t^{0.75} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$				$100 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$10^{11} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$		۴۰۰۰ تا ۲۶۰۰	
<p>^a برای ضرایب تصحیح و واحدها، به جدول ۹ مراجعه کنید.</p> <p>^b مقادیر MPE برای مدت زمان‌های پرتوگیری کمتر از 10^{-8} 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 به دست می‌آیند. مقادیر MPE برای مدت زمان‌های گسیل کمتر از 10^{-12} s برابر با مقادیر چگالی شار تابشی معادل MPE در 10^{-12} s در نظر گرفته می‌شود.</p> <p>^c در گستره طول موجی بین ۴۵۰ nm و ۵۰۰ nm، حدود دوگانه‌ای به کار می‌روند و گسیل یک محصول نباید از هر یک از دو حدقابل کاربرد برای طبقه اختصاص داده شده تجاوز نماید.</p> <p>^d برای لیزرهای تپی UV تکرارپذیر هیچ حدی نباید تجاوز نماید.</p> <p>^e در گستره طول موج بین ۱۲۵۰ nm و ۱۴۰۰ nm حدودی برای حفاظت از شبکه 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.</p>									

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

زمان پرتوگیری t (s)						طول موج λ (nm)	
3×10^4 تا 10^4	10^4 تا 10^2	10^2 تا 10^0	10^{-5} تا $1/3$	5×10^{-6} تا $1/3 \times 10^{-5}$	10^{-11} تا 5×10^{-6}	10^{-13} تا 10^{-11}	
۴۰۰ nm تا ۶۰۰ nm - خطر فوتوشیمیایی شبکیه‌ای ^a			$18t^{1/5} C_p J.m^{-2}$		$2 \times 10^{-2} C_p J.m^{-2}$	$1 \times 10^{-2} C_p J.m^{-2}$	۴۰۰ تا ۷۰۰
$1 C_p W.m^{-2}$ با استفاده از $\gamma_{ph} = 110 \text{ mrad}$	$1 C_p W.m^{-2}$ با استفاده از $\gamma_{ph} = 1/1 t^{1/5} \text{ mrad}$	$100 C_p J.m^{-2}$ با استفاده از $\gamma_{ph} = 11 \text{ mrad}$					
و							
۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm - خطر گرمایی شبکیه‌ای			$18 C_p T_r^{-1/25} W.m^{-2}$ ($t > T_r$)		$2 \times 10^{-2} C_p J.m^{-2}$	$1 \times 10^{-2} C_p J.m^{-2}$	۴۰۰ تا ۷۰۰
$18 t^{1/5} C_p J.m^{-2}$ ($t \leq T_r$)							
۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm - خطر گرمایی شبکیه‌ای			$18 C_p C_r T_r^{-1/25} W.m^{-2}$ ($t > T_r$)		$2 \times 10^{-2} C_p C_r J.m^{-2}$	$1 \times 10^{-2} C_p J.m^{-2}$	۷۰۰ تا ۱۰۵۰
$18 t^{1/5} C_p C_r J.m^{-2}$ ($t \leq T_r$)							
۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ nm - خطر گرمایی شبکیه‌ای			$90 C_p C_r T_r^{-1/25} W.m^{-2}$ ($t > T_r$)	$2 \times 10^{-2} C_p C_r J.m^{-2}$	$1 \times 10^{-2} C_p C_r J.m^{-2}$	10^{-2} تا 10^{-1}	$90 t^{1/5} C_p C_r J.m^{-2}$ ($t \leq T_r$)

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 به کار می‌روند و پرتوگیری نباید از هر یک از دو حد قابل کاربرد تجاوز نماید. معمولاً حدود خطر فوتوشیمیایی فقط برای مدت زمان‌های پرتوگیری بیشتر از ۱۰ s به کار می‌رود؛ با این حال، برای طول موج‌های بین ۴۰۰ nm تا ۴۸۴ nm و برای اندازه‌های چشمه ظاهری بین ۱٫۵ mrad و ۸۲ mrad حد دوگانه خطر فوتوشیمیایی $100 C_p J.m^{-2}$ باید برای پرتوگیری‌های بزرگتر یا مساوی با ۱ s به کار گرفته شوند. ^c در گستره طول موج بین ۱۲۵۰ nm و ۱۴۰۰ nm، محدودی 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، محدودی 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 (C₆ = 1) برای گستره طول موجاز ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm بیان شده به عنوان توان یا انرژی^{a,b}

مدت زمان گسیل t					طول موج λ
s					nm
۱.۲ تا ۳×۱۰ ^{-۴}	۱.۰ تا ۱.۲	۱۳ تا ۱۰×۱۰ ^{-۶}	۵×۱۰ ^{-۶} تا ۱۳×۱۰ ^{-۶}	۱.۰-۱۱ تا ۵×۱۰ ^{-۶}	۱.۰-۱۳ تا ۱.۰-۱۱
۳,۹×۱۰ ^{-۵} C _۳ W	۳,۹×۱۰ ^{-۳} J	۷×۱۰ ^{-۴} t ^{۰.۷۵} J	۷,۷×۱۰ ^{-۸} J	۳,۸×۱۰ ^{-۸} J	۴۵۰ تا ۴۰۰
	۳,۹×۱۰ ^{-۳} C _۳ J				۵۰۰ تا ۴۵۰
C _۳ ۳,۹×۱۰ ^{-۴} W	۷۰۰ تا ۵۰۰				
۳,۹×۱۰ ^{-۴} W					
۳,۹×۱۰ ^{-۴} C _۴ C _۷ W		۷×۱۰ ^{-۴} t ^{۰.۷۵} C _۴ J	۷,۷×۱۰ ^{-۸} C _۴ J	۳,۸×۱۰ ^{-۸} J	۱۰۵۰ تا ۷۰۰
		۳,۵×۱۰ ^{-۳} t ^{۰.۷۵} C _۷ J	۷,۷×۱۰ ^{-۷} C _۷ J	۳,۸×۱۰ ^{-۸} C _۷ J	۱۴۰۰ تا ۱۰۵۰ ^d
یادآوری - تراز پرتوگیری در مقایسه با MPE بیان شده به عنوان انرژی یا توان، به عنوان توان یا انرژی که از یک روزنه با قطر ۷ mm عبور می کند تعیین می شود. (مقادیر MPE بیان شده در این جدول از جدول الف-۱ با ضرب در سطح مقطع روزنه ای با قطر ۷ mm به دست آمده اند.)					
<p>^a برای ضرایب تصحیح و واحدها، به جدول ۹ مراجعه کنید.</p> <p>^b مقادیر MPE برای مدت زمان های گسیل کمتر از ۱۰^{-۱۳}s برابر با مقادیر چگالی شار تابشی معادل MPE در ۱۰^{-۱۳}s در نظر گرفته می شود.</p> <p>^c در گستره طول موج بین ۴۵۰ nm و ۵۰۰ nm، حدود دوگانه ای به کار می روند و پرتوگیری نباید از هر یک از دو حد قابل کاربرد تجاوز نماید.</p> <p>^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 بخش های قدامی چشم (قرنیه، عنبیه) مناسب نباشد و احتیاط لازم باید صورت گیرد. اگر پرتوگیری از مقادیر MPE پوست تاوز نکند هیچ نگرانی برای بخش های قدامی چشم وجود ندارد.</p>					

جدول الف-۴- بیشینه پرتوگیری مجاز (MPE) از جدول الف-۲ (چشمه‌های گسترده) برای گستره طول موج از ۴۰۰nm تا ۱۴۰۰nm بیان شده به‌عنوان توان یا انرژی a,b,c,d,e,f,g

مدت زمان گسیل t s						طول موج λ nm		
3×10^{-4} تا 10^{-4}	10^{-4} تا 10^{-2}	10^{-2} تا 10^0	10^{-6} تا 13×10^{-6}	13×10^{-6} تا 5×10^{-6}	10^{-11} تا 5×10^{-6}	10^{-13} تا 10^{-11}		
خطر فوتوشیمیایی شبکه‌ای ^{d,e} ۴۰۰ nm تا ۶۰۰ nm						۷۰۰ تا ۴۰۰		
$3,9 \times 10^{-5} C_p W$ با استفاده از $\gamma_{ph} = 110 \text{ mrad}$	$3,9 \times 10^{-5} C_p W$ با استفاده از $\gamma_{ph} = 1,1 t^{0,5} \text{ mrad}$	$3,9 \times 10^{-3} C_p J$ با استفاده از $\gamma_{ph} = 11 \text{ mrad}$	$7 \times 10^{-4} t^{0,75} C_p J$	$7,7 \times 10^{-8} C_p J$	$3,8 \times 10^{-8} C_p J$			
و								
خطر گرمایی شبکه‌ای ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm								
$7 \times 10^{-1} t^{0,75} C_p J$ ($t \leq T_p$)	$7 \times 10^{-4} C_p T_p^{-0,75} W$ ($t > T_p$)							
$7 \times 10^{-4} t^{0,75} C_p C_f J \cdot m$ ($t \leq T_p$)	$7 \times 10^{-4} C_p C_f T_p^{-0,75} W$ ($t > T_p$)		$7 \times 10^{-4} t^{0,75} C_p C_f J$	$7,7 \times 10^{-8} C_p C_f J$	$3,8 \times 10^{-8} C_p J$	۷۰۰ تا ۱۰۵۰		
$3,5 \times 10^{-3} t^{0,75} C_p C_f J$ ($t \leq T_p$)	$3,5 \times 10^{-3} C_p C_f T_p^{-0,75} W$ ($t > T_p$)						$3,5 \times 10^{-3} t^{0,75} C_p C_f J$	$7,7 \times 10^{-7} C_p C_f J$

جدول الف-۴- ادامه

<p>یادآوری ۱- حدود پرتوگیری برای اغلب بافت‌های چشمی ممکن است برای ابزارهای چشم پزشکی متفاوت باشند. استاندارد ISO 15004-2 را مشاهده کنید.</p> <p>یادآوری ۲- تراز پرتوگیری در مقایسه با <i>MPE</i> بیان شده به‌عنوان انرژی یا توان، به‌عنوان توان یا انرژی که از یک روزنه با قطر ۷ mm عبور می‌کند تعیین می‌شود. (مقادیر <i>MPE</i> بیان شده در این جدول از جدول الف-۱ با ضرب در سطح مقطع روزنه ای با قطر ۷ mm به‌دست آمده‌اند).</p>
<p>^a برای ضرایب تصحیح و واحدها، به جدول ۹ مراجعه کنید.</p> <p>^b مقادیر <i>MPE</i> برای مدت زمان‌های گسیلکمتر از 10^{-12} s برابر با مقادیر چگالی شار تابشی معادل <i>MPE</i> در 10^{-12} s در نظر گرفته می‌شود.</p> <p>^c در گستره طول‌موج بین ۴۵۰ nm و ۶۰۰ nm، حدود دوگانه‌ای به‌کار می‌روند و پرتوگیری نباید از هر یک از دو حد قابل کاربرد تجاوز نماید.</p> <p>^d زاویه γ_{ph}، زاویه اندازه‌گیری محدود پذیرش است.</p> <p>^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 حد دوگانه خطر فوتوشیمیایی $10^{-3} C_{pL}$ در $10 \times 3.9 \times 10^3$ s به ۱ s گسترش می‌یابد.</p> <p>^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 <i>MPE</i> پوست تجاوز نکند هیچ نگرانی برای بخش‌های قدامی چشم وجود ندارد.</p> <p>^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. اگر پرتوگیری از مقادیر <i>MPE</i> پوست تجاوز نکند هیچ نگرانی برای بخش‌های قدامی چشم وجود ندارد.</p>

جدول الف-۵- بیشینه پرتوگیری مجاز (MPE) پوست از تابش لیزر^{a,b}

زمان پرتوگیری t					طول موج
s					λ
10^{-3} تا 10^{-2}		10^{-1} تا 10^{-2}		10^{-9} تا 10^{-6}	$< 10^{-9}$
$30 J \cdot m^{-2}$					۱۸۰ تا ۳۰۲٫۵
$C_p J \cdot m^{-2}$	$C_p J \cdot m^{-2} (t > T_i)$			$3 \times 10^{11} W \cdot m^{-2}$	۳۰۲٫۵ تا ۳۱۵
	$C_p J \cdot m^{-2} (t \leq T_i)$				۳۱۵ تا ۴۰۰
$10 W \cdot m^{-2}$	$C_p J \cdot m^{-2}$				۴۰۰ تا ۴۰۰
$2000 W \cdot m^{-2}$	$1,1 \times 10^4 t^{-0,75} J \cdot m^{-2}$		$200 J \cdot m^{-2}$	$2 \times 10^{11} W \cdot m^{-2}$	۴۰۰ تا ۷۰۰
$2000 C_p W \cdot m^{-2}$	$1,1 \times 10^4 C_p t^{-0,75} J \cdot m^{-2}$		$200 C_p J \cdot m^{-2}$	$2 \times 10^{11} C_p W \cdot m^{-2}$	۷۰۰ تا ۱۴۰۰
$1000 W \cdot m^{-2}$	$5600 t^{-0,75} J \cdot m^{-2}$			$10^{12} W \cdot m^{-2}$	۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰
	$10^4 J \cdot m^{-2}$			$10^{12} W \cdot m^{-2}$	۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰
	$5600 t^{-0,75} J \cdot m^{-2}$		$10^3 J \cdot m^{-2}$	$10^{12} W \cdot m^{-2}$	۱۸۰۰ تا ۲۶۰۰
	$5600 t^{-0,75} J \cdot m^{-2}$		$100 J \cdot m^{-2}$	$10^{11} W \cdot m^{-2}$	۲۶۰۰ تا 10^6

^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 به کار رفته در $10^{-9} s$ به دست می‌آیند.

^c برای نواحی پوستی در معرض قرار گرفته بزرگتر از $1 m^2$ ، MPE به $100 W \cdot m^{-2}$ کاهش می‌یابد. بین $1 m^2$ و $0,1 m^2$ ، 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 در نظر گرفته شده و به‌عنوان توان یا انرژی عبوری از یک روزنه با قطر 7mm تعیین می‌شود.

برای پرتوگیری‌های لیزر تپی قابل تکرار در محدوده طیفی بین 1400 nm تا 10^5 nm ، روزنه 1 mm برای ارزشیابی خطر از یک تپ مستقل استفاده می‌شود: در حالیکه روزنه 3.5mm برای ارزشیابی MPE قابل کاربرد برای پرتوگیری‌های بزرگتر از 10 s به‌کار می‌رود.

مقادیر پرتوگیری‌های چشمی در گستره طول‌موجی 400 nm تا 1400 nm روی یک روزنه با قطر 7 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

قطر روزنه mm		گستره طیفی nm
پوست	چشم	
۳/۵	۱	۴۰۰ تا ۱۸۰
۳/۵	۷	تا $1400 \geq 400$
	$1 \leq t \leq 0.35\text{ s}$ برای	
۳/۵	$10\text{ s} < t < 10^8\text{ s}$ برای $1.5t \leq 0.35$	تا $1400 \geq 10^5$
	$10\text{ s} \geq 0.35t$ برای	
۱۱	۱۱	تا $10^6 \geq 10^5$
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 400 nm و بزرگتر از 1400 nm مانند MPE برای پرتوگیری پوست با محدودکننده‌ترین الزامات الف) و ب) محدود شده است. مقدار MPE برای پرتوگیری چشمی برای طول موج‌های بین 400 nm تا 1400 nm با استفاده از محدودکننده-ترین الزامات الف)، ب) و پ) تعیین شده است. الزام پ) تنها برای حدودگرمایی شبکیه‌ای به کار می‌رود و برای حدود فوتوشیمیایی شبکیه‌ای به کار نمی‌رود.

الف- پرتوگیری از هر تک تپ در قطار 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 T تجاوز 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 الگوهای نامنظم 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 0.25 s به کار می‌رود.

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

که در آن:

MPE_{single} بیشینه پرتوگیری مجاز برای تک تپ؛

$MPE_{s.p.train}$ ، بیشینه پرتوگیری مجاز برای هر تک تپ در قطار تپ است.

اگر مدت زمان تپ $T_i \leq$ باشد:

برای بیشینه مدت زمان پرتوگیری مورد نظر کوچکتر یا مساوی 0.25 s ، $C_5 = 1$ است.

برای بیشینه مدت زمان پرتوگیری مورد نظر بزرگتر از 0.25 s

اگر $600 \leq N$ ، $C_5 = 1$ است.

اگر $600 > N$ ، $C_5 = N^{-0.25}$ با مقدار کمینه 0.4 است.

اگر مدت زمان تپ $T_i >$ باشد:

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

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

اگر $40 \leq N$ ، $C_5 = N^{-0.25}$ است.

اگر $40 > N$ ، $C_5 = 0.4$ است.

برای $\alpha > \alpha_{max}$

اگر $625 \leq N$ برای $C_5 = N^{-0.25}$ است.

اگر $625 > N$ ، $C_5 = 0.2$ است.

مگر اینکه $\alpha > 100\text{ mrad}$ ، جایی که در آن در همه موارد $C_5 = 1$ است.

N تعداد تپ موثر در قطار تپ در مدت زمان پرتوگیری ارزیابی شده است. (هنگامی که تپها در T_i (جدول ۲) رخ داده، N کمتر از تعداد واقعی تپها است، در ادامه مشاهده کنید). بیشینه مدت زمان پرتوگیری که برای ارزیابی T_2 (به جدول ۹ را رجوع شود)، یا مدت زمان پرتوگیری در نظر گرفته شده، هر کدام که کوتاهتر باشد، نیاز به توصیف دارد.

اگر چندین تپ در دوره زمانی T_i (جدول ۲) به وجود آمده باشند، آنها به عنوان یک تک تپ برای تعیین N محاسبه می شوند و انرژی های تپهای مستقل برای مقایسه با MPE مربوط به T_i اضافه می شوند.

الف-۴ شرایط اندازه گیری

الف-۴-۱ کلیات

به منظور ارزشیابی پرتوگیری حقیقی، شرایط اندازه گیری زیر باید به کار روند.

الف-۴-۲ روزنه محدود کننده

مقادیر چگالی انرژی یا چگالی شار تابش برای مقایسه با MPE مرتبط، روی یک روزنه بند دایره ای مطابق روزنه های محدود کننده جدول الف-۶ میانگین گیری شده اند. برای پرتوگیری چشمی در گستره طول موجی 400 nm تا 1400 nm ، یک فاصله کمینه 100 mm استفاده می شود.

الف-۴-۳ زاویه پذیرش

(۱) حدود فوتوشیمیایی شبکه ای

برای اندازه گیری های چشمه ها به منظور ارزشیابی در برابر حدود فوتوشیمیایی (400 nm تا 600 nm)، زاویه پذیرش محدود کننده γ_{ph} به قرار زیر است:

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

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

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

اگر حد زاویه ای چشمه α بزرگتر از زاویه پذیرش محدود کننده معین برای γ_{ph} باشد، زاویه پذیرش نباید بزرگتر از مقادیر تعیین شده برای γ_{ph} باشد. اگر حد زاویه ای چشمه α کوچکتر از زاویه پذیرش محدود کننده معین γ_{ph} باشد، زاویه پذیرش باید به طور 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 مقدار γ_{ph} ندارد.)

یادآوری- برای اندازه گیری های چشمه های تک که در آن $\alpha < \gamma_{ph}$ ، اندازه گیری با یک زاویه پذیرش خاص و کاملاً معین ضروری نیست. برای به دست آوردن زاویه پذیرش کاملاً معین، زاویه پذیرش می تواند با تصویربرداری چشمه بر روی میدان بند یا با پوشاندن چشمه تعیین شود- (شکل های ۱ و ۲ را به ترتیب مشاهده کنید).

۲) تمام محدود دیگر

برای اندازه‌گیری تابش در مقایسه با حدودی به غیر از حدود فوتوشیمیایی، زاویه پذیرش باید به‌طور کامل چشمه تحت نظر را در برگرد. (یعنی زاویه پذیرش باید در نهایت به بزرگی حد زاویه‌ای چشمه α باشد.) با این حال اگر $\alpha > \alpha_{max}$ باشد در گستره طول‌موجی 302.5nm تا 400nm زاویه پذیرش محدود‌کننده نباید بزرگتر از α_{max} برای حدود خطر گرمایی باشد. در گستره طول‌موجی 400nm تا 1400nm برای حدود خطر گرمایی، برای ارزشیابی یک چشمه ظاهری که شامل چندین نقطه‌است، زاویه پذیرش در محدوده $\alpha_{min} < \alpha < \alpha_{max}$ دارای تغییر است. (به زیربند ۴-۳-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} باشد باید به ترتیب به α_{max} یا α_{min} قبل از محاسبه میانگین محدود شوند. حدود خطر فوتوشیمیایی شبکه‌ای به حد زاویه‌ای چشمه بستگی ندارد و چشمه با زاویه پذیرش تعیین شده 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، لیزرهای با قطرهایی با کمر باریکه بیش از 0.2mm و زاویه واگرایی بیش از 2mrad یا محصولات لیزری منتشرکننده چشمه گسترده به‌کار رود. برای تابش لیزر چشمه گسترده (برای مثال، مشاهده بازتاب پراکنده) در طول‌موج‌هایی از 400nm تا 1400nm ، مقادیر $MPEs$ خطر گرمایی چشمی با ضریب C_6 افزایش یافته است و حد زاویه‌ای چشمه (اندازه‌گیری شده در چشم ناظر) بزرگتر از α_{min} که در آن α_{min} برابر $1/5\text{mrad}$ است را ایجاد می‌کند. ضریب تصحیح C_6 به‌قرار زیر تعیین شده است:

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

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

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

پیوست ب

(اطلاعاتی)

نمونه‌هایی از محاسبات

ب-۱ نمادهای استفاده شده در مثال‌های این پیوست

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

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. فلوجارت‌های 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 فلوجارت‌ها در بر گرفته نمی‌شوند.

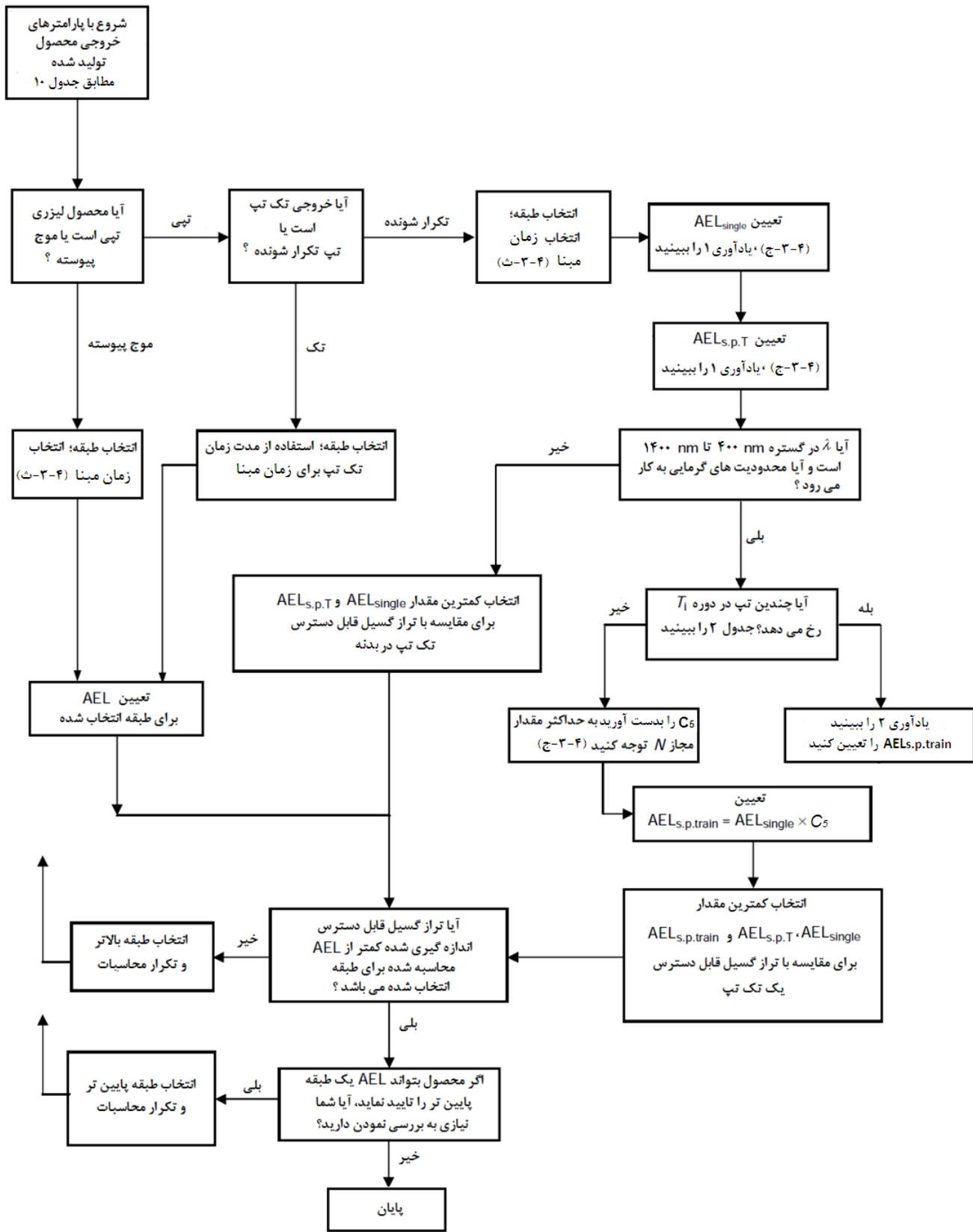
همان‌طور که در زیربندهای ۲-۴ و ۳-۴ تعیین شده است:

- این، قابلیت مسئولیت‌پذیری سازنده یا نمایندگی آن است که طبقه‌بندی صحیح یک محصول لیزری را تهیه کند. محصول براساس آن که ترکیب توان خروجی و طول موج 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 3R و 3B (به منظور 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 به گونه‌ای 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 ۳-۵ برای تعیین طبقه‌بندی صحیح باشد همان‌طور که 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.



یادآوری ۱- در این فلوچارت AEL_{single} براساس مدت تک تک تب تعیین می شود.

$AEL_{s,p,T}$ از AEL_T تعیین شده براساس پایه زمانی انتخاب شده محاسبه می شود، جایی که:

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

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

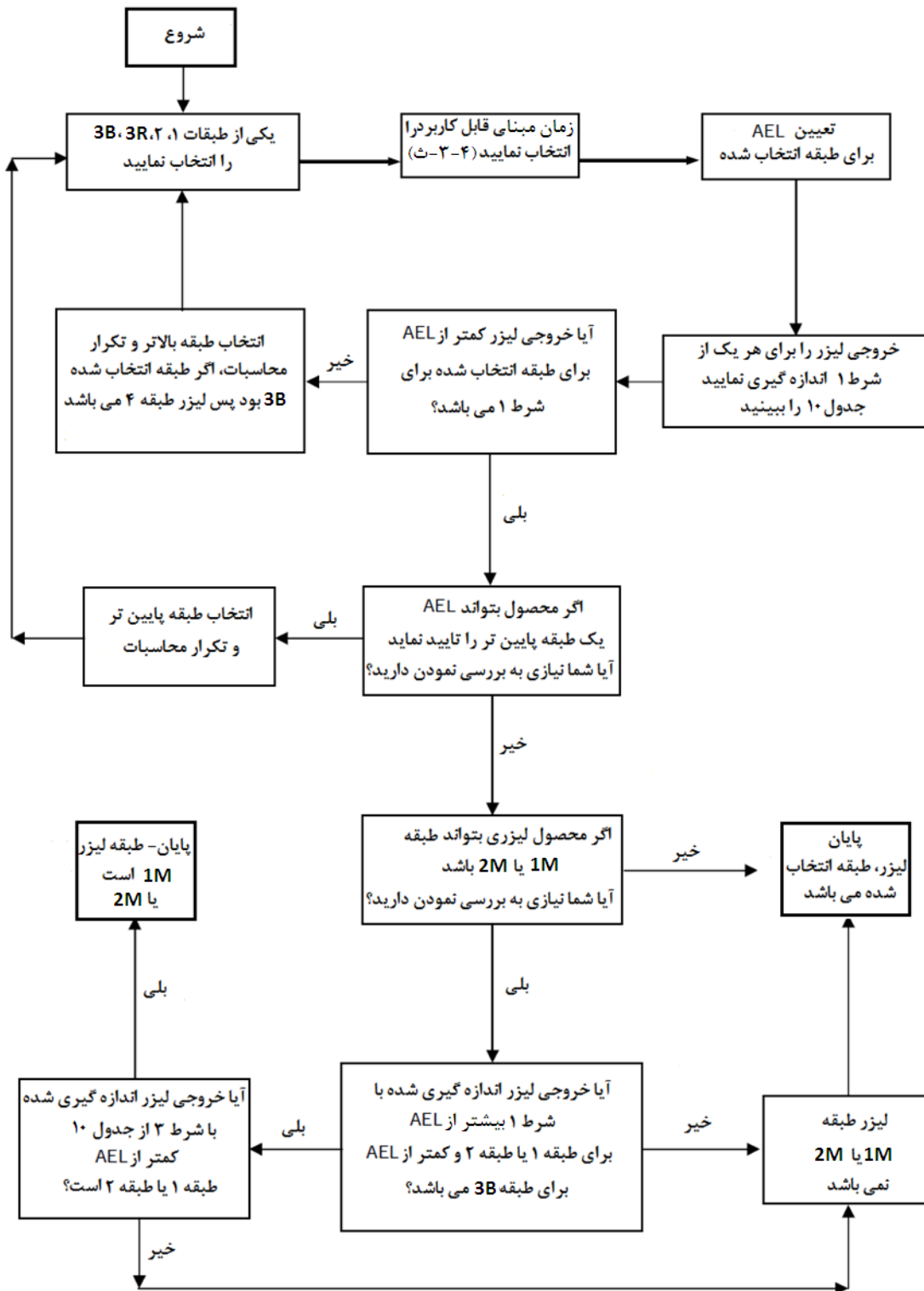
در اینجا T پایه زمانی انتخاب شده در واحد ثانیه و N_T تعداد تبها در زمان T هستند.

یادآوری ۲- اگر تبهای چندگانه در دوره T_i رخ دهند، مدت تک تب به T_i تغییر کرده و مقدار جدیدی از AEL_{single} محاسبه می شود. تغییر PRF مطابق با

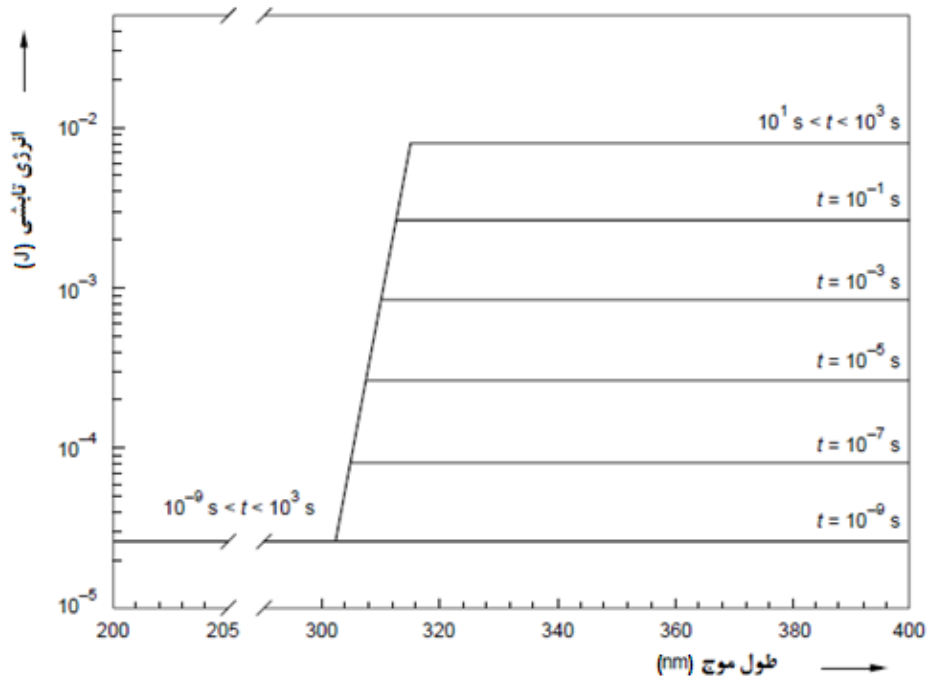
تعیین بیشینه مقدار مجاز N (زیربند ۷-۳-۱) است. تقسیم بندی مقدار جدید AEL_{single} با تعداد تبهای اصلی موجود در دوره T_i قبل از جایگزینی مقدار

نهایی AEL_{single} در معادله برای $AEL_{s,p,train}$ انجام می شوند.

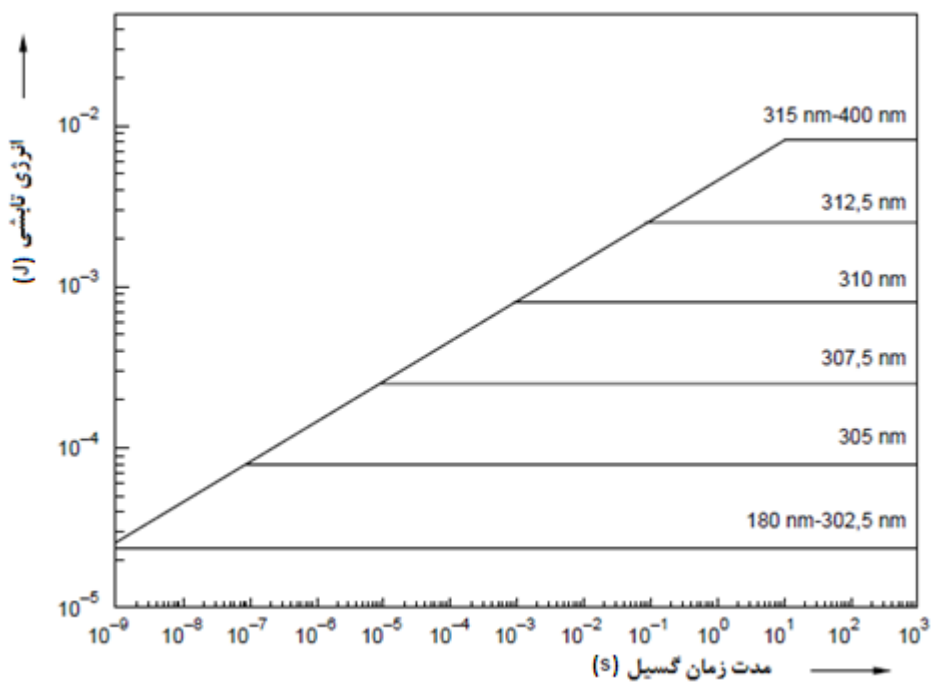
شکل ب-۱- فلوچارت راهنما برای طبقه بندی محصولات لیزری از پارامترهای خروجی ارائه شده



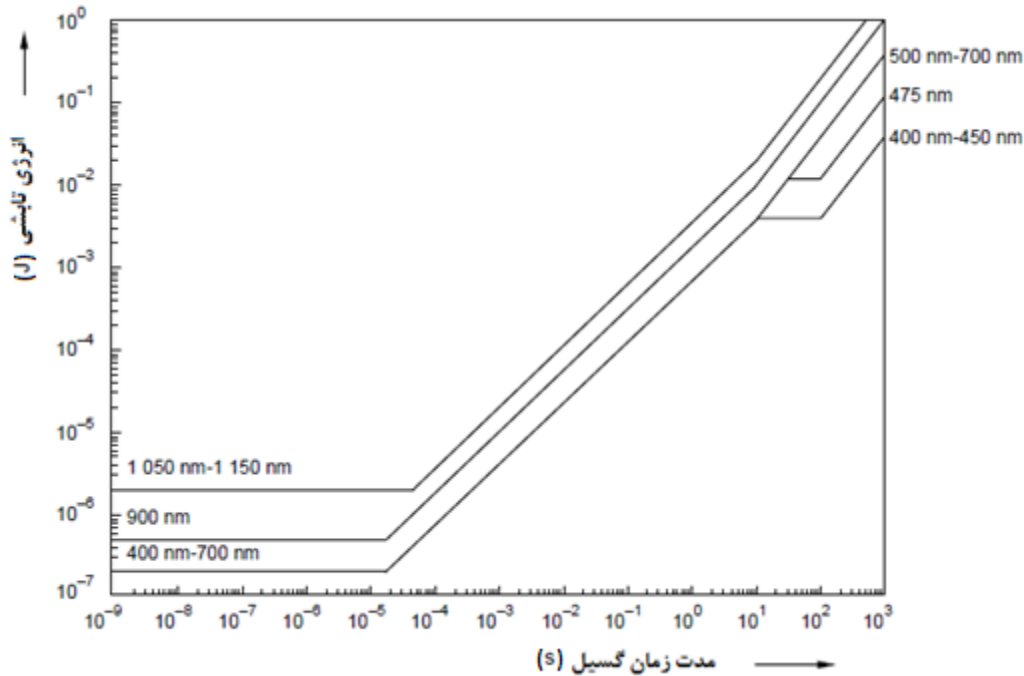
شکل ب-۲- فلوجارت راهنما برای طبقه بندی محصولات لیزری طبقه 1M و طبقه 2M



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 برای محصولات لیزری مرئی و فروسرخ انتخابی طبقه ۱ (مورد $C_6=1$)

ب-۳ مثالها

مثال ب-۳-۱

یک لیزر He-Ne پیوسته با طول موج 633 nm ، با توان خروجی 50 mW ، قطر باریکه 3 mm و واگرایی باریکه 1 mrad را طبقه بندی کنید.

حل:

از خصوصیات باریکه می تواند این مطلب استنباط شود که، این یک چشمه نقطه ای کامل موازی شده است که در آن $\alpha \leq \alpha_{min} = 1.5 \text{ mrad}$. به علت قطر کم باریکه و زاویه واگرایی، توان کامل باریکه از یک روزنه 7 mm عبور کرده و از این رو شرایط اندازه گیری ۱ و ۳، همان سطح گسیل قابل دسترس را خواهد داد. یک طبقه و یک زمان مینا را انتخاب کنید. (به زیربند ۳-۴-۳-۳ رجوع شود).

طبقه 3B و زمان مینای 100 s را انتخاب کنید. اگر چه خروجی لیزر در گستره طول موج مرئی 400 nm تا 700 nm است، زمان مینای 0.25 ثانیه برای طبقه 3B مجاز نبوده و مشاهده عمدی بعید است.

برای طبقه 3B از جدول ۸ به دست می آید:

$$AEL=0.5W$$

چون لیزر تنها ۵۰ mW را گسیل می‌کند، حد گسیل قابل دسترس برای طبقه 3B افزایش نمی‌یابد و می‌تواند به‌عنوان طبقه 3B طبقه‌بندی شود. زیربند ۳-۴- 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 nm تا ۷۰۰ nm استفاده شود، بنابراین از جدول ۶ داریم:

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

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

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

چون خروجی لیزر ۵۰ mW است، از حد گسیل قابل دسترس برای طبقه 3R بیشتر است اما کمتر از حد AEL برای طبقه 3B است، بنابراین، لیزر به‌عنوان طبقه 3B طبقه‌بندی خواهد شد.

مثال ب-۳-۲

یک لیزر دیودی پیوسته ۱۲ mW ($\lambda = 900 \text{ nm}$) بدون عدسی موازی‌کننده دارای واگرایی باریکه 0.5 rad است و پارامترهای زیر برای شرایط اندازه‌گیری تعیین شده در جدول ۱۰ داده شده است. طبقه آن چیست؟ به فرض، حد زاویه‌ای α چشمه در یک فاصله اندازه‌گیری ۱۰۰ mm کمتر از α_{min} است.

شرط ۱: کمتر از ۲۰ میکرووات از یک روزنه‌بند ۵۰ mm در ۲ متری تراشه دیود لیزر

شرط ۳: ۰٫۷ میلی‌وات از یک روزنه‌بند ۷ mm در ۱۰۰ میلی‌متری تراشه دیود لیزر

حل:

برای چنین چشمه واگرایی، واضح است که شرط ۳ محدودتر از شرط ۱ خواهد بود.

طبقه ۱ و زمان مبنای ۱۰۰ ثانیه را انتخاب کنید (۳-۴- ث)، پس برای یک لیزر با طول موج ۴۰۰ nm تا ۱۴۰۰ و $\alpha \leq 1.5 \text{ mrad}$ و $C_6 = 1$ (به جدول ۹ رجوع کنید)، حد AEL برای طبقه ۱ از جدول ۳ به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

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

که در آن با استفاده از جدول ۹، $C_7 = 1$ ، $C_4 = 10^{0.002(\lambda-700)} = 2.51$ ، 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 بیش از 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 طول موج را در همان زمان گسیل شده در نظر می‌گیرد.

انرژی تپ خروجی ۱۰۰ mJ در $\lambda = 1060 \text{ nm}$

انرژی تپ خروجی ۲۵ mJ در $\lambda = 530 \text{ nm}$

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 طول موج به دست 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 به صورت زیر ارائه می‌کند:

$$\lambda = 1060 \text{ nm} \quad AEL_{1060} = 0.03 C_4 J = 0.15 \text{ J} = 150 \text{ mJ}$$

$$\lambda = 530 \text{ nm} \quad AEL_{532} = 0.03 J = 30 \text{ mJ} \quad (t < 0.06 \text{ s})$$

قوانین برای طبقه‌بندی چند طول موج در زیربند ۳-۴-۳ ب و جدول ۲ نشان می‌دهد که این دو طول موج در چشم افزودنی هستند.

در نتیجه روش توصیف شده در ۳-۴-۳ 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 mJ خواهیم داشت :

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

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

مثال ب-۳-۴

لیزر پیوسته CO₂ ($\lambda = 10.6 \mu\text{m}$) مورد استفاده برای یک سامانه امنیتی باریکه باز را طبقه‌بندی کنید. به فرض توان خروجی میانگین ۰.۴ W، قطر باریکه ۲ mm و واگرایی باریکه ۱ mrad است.

حل:

طبقه 3R را انتخاب کنید و برای مشاهده عمدی که مورد نظر نیست، زیربند ۴-۳-ث یک زمان مبنای ۱۰۰ ثانیه‌ای را تعیین می‌کند.

جدول ۹ نشان می‌دهد که برای این طول موج ۱ C₆ است که جدول ۶ برای آن استفاده می‌شود و حد AEL را برای طبقه 3R با $T = 100 \text{ s}$ ، 5000 W.m^{-2} به دست می‌دهد. از جدول ۱۰ برای این طول موج فقط شرط ۳ به کار 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 به دست می‌آید.

به این نکته توجه کنید که جدول ۱۰ روزنه محدودکننده برای پرتوگیری ۱۰۰ s را، $3/5 \text{ mm}$ می‌دهد اما قطر باریکه لیزر تنها ۲ mm است. به منظور محاسبه چگالی شار تابشی باریکه، ($E_0 = P_0/\text{area}$)، باید هر کدام که بیشتر از قطر باریکه اصلی یا روزنه محدودکننده است را استفاده کنید، پس

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

این حد AEL را برای طبقه 3R به یک طبقه بالاتر که نیاز به ارزیابی دارد افزایش می‌دهد. جدول AEL_۸ را برای طبقه 3B، 0.5 W ارائه می‌کند، بنابراین همان‌طور که توان خروجی لیزر را افزایش می‌دهد، این لیزر به‌عنوان طبقه 3B طبقه‌بندی می‌شود.

مثال ب-۳-۵

لیزری که تپ‌های $1 \mu s$ با نرخ تکرار فرکانس تپ 500 Hz گسیل می‌کند، توان خروجی بیشینه 10 kW در $\lambda = 694 \text{ nm}$ ، قطر باریکه 5 mm و واگرایی باریکه 0.5 mrad است را طبقه‌بندی کنید. حد زاویه‌ای باید کوچکتر یا مساوی واگرایی باشد. از این رو می‌توانید یک چشمه نقطه‌ای با $1/5 \text{ mrad} < \alpha_{\min}$ را در نظر بگیرید.

زیربند ۳-۴-ج، جزئیات دستورالعمل‌ها را برای لیزرهای تپی تکرارپذیر در بر می‌گیرد که در ذیل خلاصه شده‌اند.
- برای تمامی طول‌موج‌ها، الزامات (۱) و (۲) باید تعیین شوند. علاوه بر این برای طول‌موج‌ها از 400 nm تا 1400 nm الزام (۳) نیز باید برای مقایسه با حدود گرمایی تعیین شود. الزام (۳) نیاز به ارزیابی برای مقایسه با حدود فوتوشیمیایی ندارد.

طبقه 3B را انتخاب کنید و برای مشاهده عمده‌ی که مورد انتظار نیست، زیربند ۳-۴-ث زمان مبنای را 100 s می‌دهد.

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

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

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

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

ب- زیربند ۳-۴-ج (۲) توان متوسط برای قطاری از تپ در زمان T را توصیف می‌کند. جدول ۸ حد AEL را برای $T = 100 \text{ s}$ 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 ۳-۴-ج (۲) رجوع شود) AEL_T به یک تک تپ مرتبط تبدیل می‌شود. در این مورد AEL_T دارای واحد W است که با تقسیم شدن بر PRF معادل با AEL انرژی هر تپ را می‌دهد، بنابراین

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

پ- زیربند ۴-۳-۳) انرژی تک تپ ضرب در C_5 را توصیف می‌کند که مطابق با زیربند ۴-۳-۳) 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 $N \leq 600$ ، $C_5 = 1$ است.

اگر $N > 600$ ، $C_5 = N^{0.25}$ با مقدار کمینه ۰٫۴ است.

همچنین N به تعداد تپ‌هایی که در دوره $T_2 = 10$ s برای $\alpha \leq \alpha_{min}$ رخ می‌دهند محدود می‌شود. (به جدول ۹ رجوع شود). بنابراین با یک نرخ تکرار تپ ۵۰۰ Hz در ۱۰ s، $N = 5000$ ، که بزرگتر از ۶۰۰ است

پس

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

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 می‌باشند و می‌توانند مستقیماً 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 می‌باشد.

همان‌طور که لیزر دارای یک قطر باریکه کوچک با واگرایی کم است، گسیل اندازه‌گیری شده تحت شرایط ۱ 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 به دست می‌آید :

$$Q = (\text{مدت زمان تپ}) \times (\text{قله توان}) = Q$$

$$Q = 10^4 \times 1 \times 10^{-6} = 0.01 \text{ J}$$

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

پیوست پ

(اطلاعاتی)

توصیف طبقات و خطرات بالقوه مرتبط

پ-۱ کلیات

این پیوست شامل شرح طبقات همانند خطرات بالقوه مرتبط است. این پیوست به عنوان راهنمایی برای سازنده در ایفای وظایف آنها برای توصیف خطرات مرتبط با محصول است. همچنین این پیوست به محدودیت‌های طرح طبقه‌بندی، یعنی به 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 کاربردی دیگری شامل کنترل‌های مهندسی اضافی مانند بدنه‌های محافظ است، 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 حفاظت‌بندی 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 طول موج خروجی آن که بیشتر از ۱۴۰۰ nm می‌شود به کار 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 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).

گستره طول موجی برای لیزرهای طبقه 1M به 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 1M که 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 به کار 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 زیرا این محصولات در حال حاضر در بیشتر فروشگاه‌ها وجود دارند و به‌طور معمول، اندازه‌گیری‌های مهندسی تعیین شده برای محصولات لیزری طبقه 3B و ۴ برای آن‌ها نامناسب هستند. کمیته‌های فنی که طبقه 1C را به کار 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 طول موجی از ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm گسیل می‌کند که برای پرتوگیری‌های لحظه‌ای ایمن هستند اما می‌توانند برای خیره شدن عمده به درون باریکه خطرناک باشند. زمان مبنای ۰/۲۵ 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 2M استفاده 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 بینایی یا ناشی از واکنش‌های سریع باشد. چنین اختلالات بینایی 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 طبقه 2M به ویژه تحت شرایط نور محیطی کم ایجاد شود. این ممکن است دارای مفاهیم ایمنی معمول غیرمستقیم در نتیجه اختلال لحظه‌ای بینایی یا ناشی از واکنش‌های سریع باشد. چنین اختلالات بینایی 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، حرکت سر یا بسته نگاه داشتن چشم‌ها و جلوگیری از مشاهده درون باریکه‌ای مداوم. برچسب‌زنی محصولات طبقه 2M در مورد 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 نسبتاً کم باشد. حد AEL برای طبقه 3R تنها 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 3R برای کاربر اعمال می‌شود. در حالی که محصولات لیزری طبقه 3R ذاتاً ایمن توصیف نمی‌شوند، 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 به انواع خطری که مرتبط با لیزرهای طبقه 3R وجود 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 1، 1M، 2، 2M و 3R تعیین شده در ویرایش قبلی این استاندارد، 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 3B در ویرایش قبلی طبقه‌بندی می‌شدند، در این ویرایش طبقه 3R هستند. برای ویرایش اخیر، تجارب عملی کمتری با توجه به ریسک‌آسیب‌دسترس وجود دارد، همان‌طور که برای چشمه‌های *CW* با باریکه‌های موازی با توان بیش از 5mW که سالیان بسیاری به‌عنوان لیزرهای تنظیم‌کننده استفاده می‌شدند، تجارب کمی وجود دارد.

خیرگی خفیف، نابینایی لحظه‌ای و پس-تصاویر ممکن است توسط باریکه‌ای از محصول لیزری طبقه 2 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 3B باید تنها جایی که مشاهده درون باریکه‌ای مستقیم بعید هستند استفاده شوند.

پ-2-7 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 3B که نزدیک به حد *AEL* طبقه 3B هستند 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 لیزرهای طبقه 3B که دارای توان‌هایی نزدیک حد *AEL* است، مشاهده طولانی بیشتر از 10 s از بازتاب پراکنده واقعی تابش مرئی و مشاهده در فواصل کمتر از 13 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 1C از 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 3B دارای 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 1M و 2M است.

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 به وسیله *NOHD* یا برای موازی‌سازی بهتر طبقه 1M و 2M که با دوربین دوچشمی یا تلسکوپ مشاهده شده، به وسیله *NOHD* گسترده (*ENOHD*) مرزبندی شده است. ممکن است که یک محصول لیزری خاص (طبقه 3B و ۴) دارای *NOHD* بسیار کوتاه مربوط با آن باشد، به طوری 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 به گونه‌ای باشد که پرتوگیری در منطقه کار زیر حد *MPE* و بنابراین ایمن باشد، تعمیر و نگهداری عادی نیاز به رسیدگی خواهد داشت. به عنوان 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 ریسک است.

آزمون‌های طبقه‌بندی برای این طراحی شده‌اند تا نزدیک به بدترین مورد و محدود باشند برای حصول اطمینان از 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 3B یا ۴ می‌تواند به گونه‌ای 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. به عنوان مثال، محصول می تواند یک بدنه محافظ را مشخص کند (که سازگار با استاندارد IEC 60825-4 است) اما یک محصول لیزری طبقه ۱ جاسازی شده را به دلایل زیر خراب می کند:

- بدنه محافظ، مطابق این استاندارد برای دوره زمانی گسترده (در حالی که برای ماشین ها مطابق استاندارد IEC 60825-4 ارزشیابی با زمانی کمتر به کار می رود) آزمون را خراب می کند.

- محصول دارای پوشش رویی نیست اما برای محیطی که در آن افراد اطراف حفاظ نیستند ایمن تعریف می شود.

- بازرسی خودکار مشخصی از دسترسی در مسیر نیست. (با این حال، در یک محیط کنترل شده، این می تواند با اندازه گیری قفل های منحصر به فرد ایمن سازمانی جایگزین شود تا در نزدیکی درب، زمانی که شخصی درون حفاظ است ممانعت کند- که آن اثری بر طبقه بندی ندارد، اما روشی را که در آن تراز طراحی شده ایمن برای کاربر را بدست می آورد نشان می دهد).

در مواردی که در آن خطر مرتبط با محصول لیزری طبقه 3B و طبقه 4 به درون حفاظ محدود شده باشد اندازه گیری های ایمن سازمانی ممکن است کافی باشد. به طور 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 اندازه گیری های ایمن سازمانی ممکن است کافی باشد.

مثال های دیگری وجود دارند که در آن ها خطر مرتبط با لیزرهای طبقه 3B و طبقه 4 فقط در وضعیت های خاص افزایش می یابد. به عنوان مثال بررسی وضعیتی که در آن طبقه بندی براساس محصولاتی چون لنز موازی کننده است که برای چشمه با واگرایی بالا، برای درمان لیزری با سطح پایین به کار می روند. این محصول ممکن است به عنوان طبقه 3B براساس عدسی که بر روی آن نصب شده است طبقه بندی شود زیرا این عدسی یک خطر بالقوه باریکه موازی شده را به وجود می آورد. با این حال استفاده بدون تجهیزاتی که بر روی آن نصب شده باشد که در یک باریکه واگرا نتیجه خواهد شد، می تواند 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 محدودیت های طرح طبقه بندی

اگر چه آزمون های طبقه بندی بیشتر در راه های نسبتاً محدود و بدترین حالت هستند، هنوز محدودیت هایی وجود دارد که در آن ها، در موارد نادر، ممکن است منجر به خطراتی ماوراء خطراتی که مرتبط با طبقه های مخصوص هستند شوند. طبقه بندی بر اساس سه جزء صورت می پذیرد:

الف- حد AEL طبقات مختلف

ب- دستورالعمل های اندازه گیری برای فاصله اندازه گیری، قطر روزنه و زاویه پذیرش برای انعکاس شرایط پرتوگیری بالقوه. این دستورالعمل های اندازه گیری، برای یک محصول لیزری معین، گسیل قابل دسترسی را تعیین می کند که در مقایسه با AEL طبقه را مشخص می کند.

پ- شرایط آزمون تحت *AEL* و گسیل قابل دسترس تعیین شده است. این شامل در نظر گرفتن شرایط تکاشکال قابل پیش‌بینی منطقیست. همچنین تعمیر و نگهداری و عملکرد نیاز به تشخیص دارند. استفاده از محصولات و شکل‌های متفاوت محصول که می‌توانند بدون استفاده از ابزار به دست آیند نیاز به رسیدگی دارند. هر یک از این سه جزء دارای برخی فرض‌های تضمینی هستند، به طوری که در موارد نادر جایی که این فرضیات برآورده نمی‌شوند، خطراتی ماوراء مفهوم معمول طبقه، می‌تواند افزایش یابد. به‌عنوان مثال، *AEL* برای طبقه ۱M برای زمان پرتوگیری طولانی بر اساس فرض حرکات چشمی یک چشم بی‌حس نشده 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 مجدداً طبقه‌بندی کند.

با این وجود، سازنده باید از محدودیت‌ها آگاه باشد به طوری که این امکان وجود دارد که در برگزیده 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 به کاربرده شود یا نشود، بستگی دارند.)

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

- 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 ۱۰۰۰ s 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 که انتظار می‌رود این اشکالات با نسبت بالای احتمال رخ دهند، احتمال برای یک دو اشکال ممکن است به اندازه کافی بالا باشد، به طوری 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* به خصوص برای باریکه‌های لیزر با واگرایی زیاد دارد.

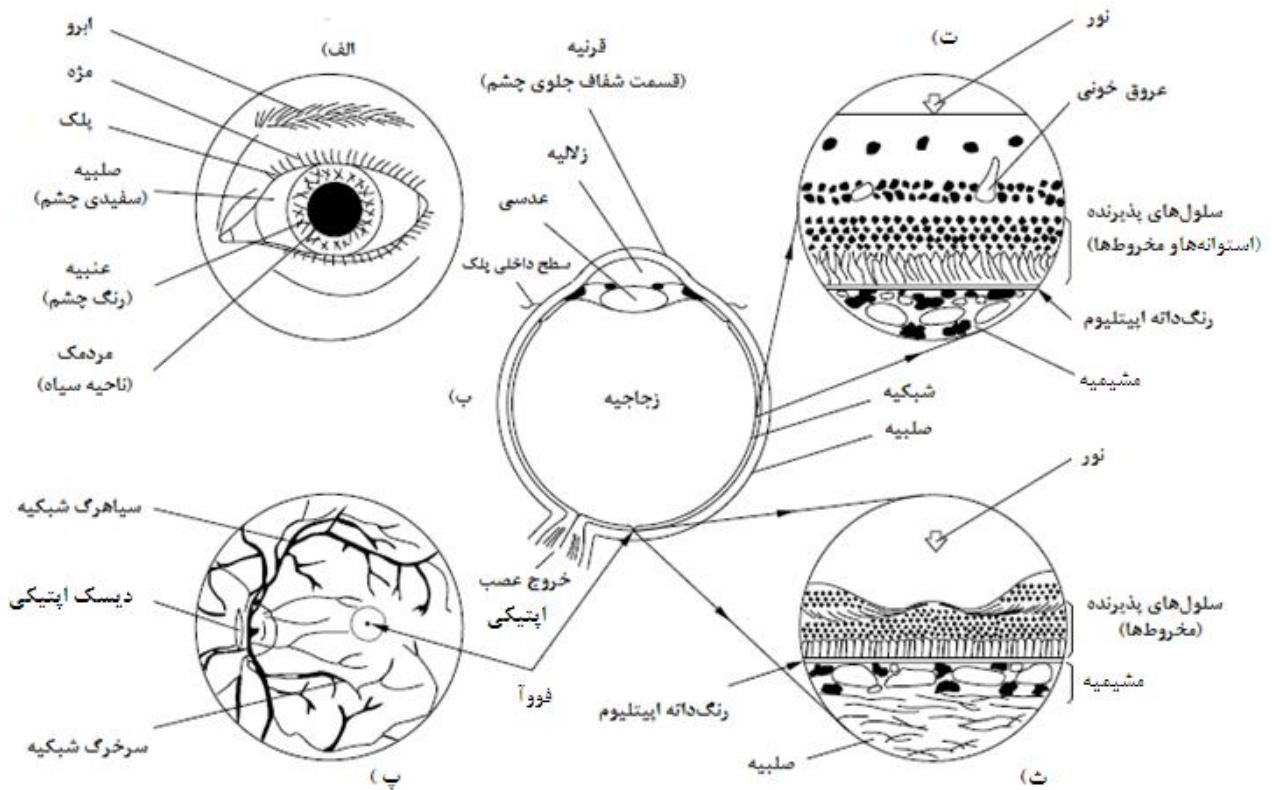
پ-۴ منابع

- [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 classification measurement 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^۱ (FOV) را تا یک حالت بادامی شکل محدود می‌کند. ویژگی‌های اصلی جلوی چشم برچسب‌گذاری و مشخص شده‌اند.

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 فوواست. فووا یک فرورفتگی کوچک در سطح شبکیه است که ممکن است رنگین‌تر از اطراف شبکیه باشد و ناحیه‌ای با بیشترین میزان بینایی است. فووادر مرکز لکه یا ماکولا است، ماکولا مسئول اصلی مشاهده جزئیات است.

قسمت ت) ساختاری از شبکیه، همان‌طور که 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^۱ و رگ‌های خونی است.

قسمت ث) 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

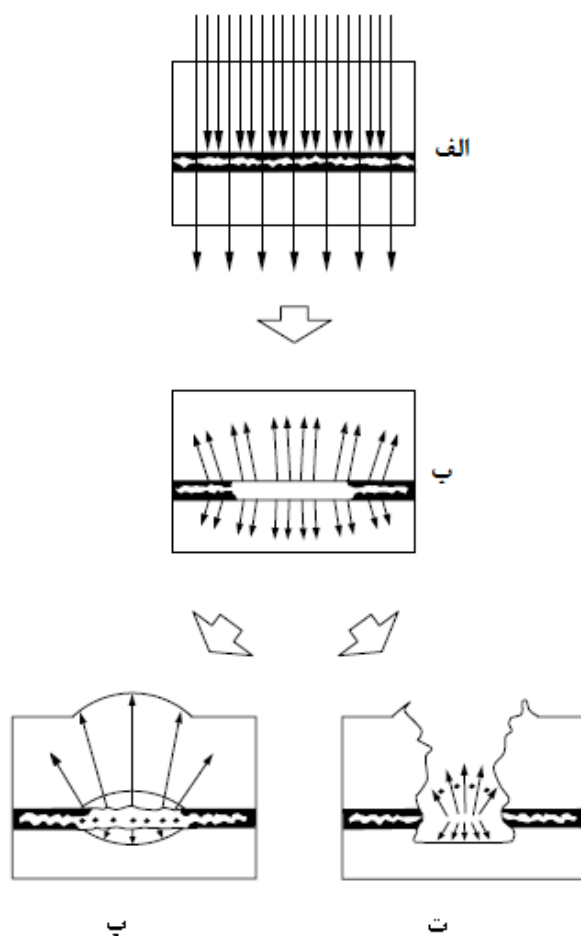
سازوکاری که در آن تابش لیزر باعث آسیب می‌شود، شبیه تمام سامانه‌های زیستی است و ممکن است شامل واکنش‌های گرمایی، گرما صوتی، فرآیندهای فوتوشیمیایی و اثرات غیرخطی باشند. درجه‌ای که هر یک از این سازوکارها در آن مسئول ایجاد آسیب هستند ممکن است به برخی پارامترهای فیزیکی چشمه تابشی که مهمترین آن‌ها عبارتند از طول موج، 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؛

- از $100 \mu s$ تا چند ثانیه، اثرات گرمایی و

- بیش از $10 s$ ، اثرات فوتوشیمیایی.

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 طول موج 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 لیزرهایی 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

اثرات گرمایی - زمانی که انرژی تابشی کافی توسط سیستم جذب شد، مولکول‌های اجزاء آن ارتعاشات افزایشی را تجربه می‌کنند و این افزایشی در قسمت گرمایی می‌باشد. اغلب آسیب‌های ناشی از لیزر به علت گرمای بافت یا بافت‌های جذب 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. همان‌طور که 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 گرمایشیایی 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 به فرد، 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 طولانی مدت 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 به وسیله پرتوگیری لیزری فعال شده‌اند ممکن است غیرطبیعی یا ناشی از گسترش فرآیندهای طبیعی باشند. واکنش‌های فوتوشیمیایی به‌طور معمول از قانون بنزن روسکو 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 (یعنی سوئیچ Q و 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 موازی شده متمرکز کرده و بیشتر آستانه را بین تقریباً 10 ps و 1 ns کاهش می‌دهد. علاوه بر این به نظر می‌رسد که دیگر سازوکارهای اپتیکی غیرخطی نقشی را در آسیب شبکه‌ای در محدوده زیر نانو ثانیه‌ای بازی می‌کنند.

در کلیه سازوکارهای آسیب‌رسانی که در بالا ذکر شد، اثر بر روی شبکه نشان داده شده است که در نقاط شکست یا تغییرات شیب در ترازهای پرتوگیری ایمن توصیف شده 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 فرورسرخ دور را گسیل می‌کنند برای قرنیه ایجاد خطر می‌کنند در حالیکه سامانه‌های گسیل‌کننده طول موج‌های مرئی و فرورسرخ نزدیک، به شبکه منتقل می‌شوند.

باریکه‌های لیزری مرئی و فرورسرخ 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 شبکه تقریباً با نسبت مساحت سطح مردمک به تصویر در شبکه برابر است. این افزایش به‌علت آن است که نوری که از مردمک می‌گذرد روی یک نقطه بر روی شبکه کانونی می‌شود. مردمک یک روزنه متغیر است اما قطر آن ممکن است در چشم جوان هنگامی که به بیشینه بازشدگی رسیده است به بزرگی 7 mm باشد. تصویر شبکه مربوط به چنین مردمکی ممکن است با قطری بین $10 \mu\text{m}$ تا $20 \mu\text{m}$ باشد. با در نظر گرفتن پراکندگی درون چشمی و ابیراهی‌های قرنیه، افزایش چگالی شار تابشی بین قرنیه تا شبکه در مرتبه $10^5 \times 2$ است.

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

پوست	چشم	گستره طیفی CIE ^a
اریتما (آفتاب سوختگی) تسریع فرایند پیر شدن پوست افزایش رنگدانه	فوتوکراتیت	فرابنفش C (۱۸۰nm تا ۲۸۰nm)
		فرابنفش B (۲۸۰nm تا ۳۱۵nm)
تیره‌سازی رنگدانه واکنش‌های حساس به نور سوختگی پوست	آب‌مروراید فوتوشیمیایی	فرابنفش A (۳۱۵nm تا ۴۰۰nm)
	آسیب گرمایی و فوتوشیمیایی شبکه	مرئی (۴۰۰nm تا ۷۸۰nm)
سوختگی پوست	آب‌مروراید، سوختگی شبکه	فروسرخ A (۷۸۰nm تا ۱۴۰۰nm)
	آب‌مروراید، سوختگی قرنیه	فروسرخ B (۱٫۴μm تا ۳٫۰μm)
	فقط سوختگی قرنیه	فروسرخ C (۳٫۰μm تا ۱mm)

^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 مطابقت داشته باشند.

اگر یک افزایش از مرتبه 2×10^5 فرض شود، یک باریکه 50 W.m^{-2} روی قرنیه معادل $1 \times 10^4 \text{ W.m}^{-2}$ روی شبکه می‌شود. در این استاندارد یک مردمک 7 mm به‌عنوان روزه 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 7 mm در نتایج استخراجی از حدود پرتوگیری برای محافظت در برابر مشکلات نوری شبکه‌ای به‌کاربرده می‌شود، در حالی که مشاهده چشمه‌های لیزر نور مرئی (400 nm تا 700 nm) برای دوره زمانی بیش از 10 s به‌کار می‌رود. در این حالت اخیر، مردمک 3 mm به‌عنوان بدترین حالت فرض می‌شود؛ با این حال، هنوز یک روزه میانگین چگالی شار تابشی 7 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 10 s نیز برای روزه‌های 7 mm استنتاج می‌شود.

اگر یک باریکه شدید نور لیزر روی شبکه متمرکز شده باشد، فقط یک کسر کوچک نوری (تا 5%) 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 جذب شده 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 400 nm تا 1400 nm، بیشترین خطر، آسیب شبکیه است. قرنيه، زلالیه، عدسی و زجاجیه این طول موج‌ها را به‌خوبی عبور می‌دهند. در مورد یک باریکه کاملاً موازی شده، خطر تقریباً مستقل از فاصله بین چشمه تابش و چشم است، زیرا که تصویر شبکیه‌ای لکه محدود پراشی تقریباً $10 \mu\text{m}$ تا $20 \mu\text{m}$ است. در این مورد، با فرض تعادل گرمایی، ناحیه شبکیه‌ای خطر توسط زاویه محدودکننده α_{min} که معمولاً به لکه شبکیه‌ای با قطر تقریباً $25 \mu\text{m}$ مربوط است، معین می‌شود.

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 400 nm تا 600 nm به‌علاوه فعالیت‌های چشمی بیشتر، انرژی جذب شده 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 10 s به‌کار می‌روند. حرکات فیزیولوژیکی چشم که به اسم «ساکاد» شناخته می‌شود، موجب گسترش انرژی جذب شده در تصاویر شبکیه‌ای کوچک (در مرتبه $25 \mu\text{m}$ یا کمتر) در زمان‌های 0.1 تا 1.0 s می‌شود. محدودیت‌ها یک ضریب ایمنی اضافی طراحی شده برای این

حالت مشاهده را ایجاد می‌کنند. در 0.25 s لکه میانگین شبکه‌ای تقریباً $50\ \mu\text{m}$ روشن شده است. در 10 s ناحیه شبکه‌ای روشن شده تقریباً $75\ \mu\text{m}$ می‌شود و ضریب ایمنی اضافی برای حالت کمینه تصویر 1.7 بیش از یک چشم ثابت با اندازه لکه وابسته به مقدار به‌دست آمده است. در 100 s دست یافتن به یک ناحیه روشن شده (اندازه‌گیری شده در 50% نقاط) با اندازه $135\ \mu\text{m}$ موجب یک ضریب ایمنی اضافی از مرتبه 2.3 یا بیشتر برای حالت کمینه تصویر می‌شود.

داده‌های مطالعات حرکات چشمی و آسیب‌گرایی شبکه‌ای برای به‌دست‌آوردن یک نقطه انفصال زمانی مشاهده در T_2 حرکات چشمی، برای خطری که به‌صورت تئوری افزایش یافته، برای مدت زمان‌های افزایش یافته پرتوگیری شبکه‌ای در حالتی که چشم بی حرکت مانده باشد ترکیب می‌شوند. چون آستانه آسیب گرمایی‌شان شده به‌عنوان توان تابشی ورودی چشم، مدت زمان پرتوگیری t افزایش یافته تا توان 0.25 - را کاهش می‌دهد (یعنی کاهش تنها 44% از هر ده برابر افزایش در مدت زمان)، فقط افزایش‌های محدودی در ناحیه شبکه‌ای در معرض قرار گرفته برای خطر افزایش یافته در زمان‌های مشاهده طولانی‌تر را جبران خواهد کرد. افزایش ناحیه شبکه‌ای 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 α نقطه انفصال T_2 ، از 10 s برای چشمه‌های کوچک تا 100 s برای چشمه‌های بزرگتر افزایش می‌یابد. بعد از 100 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 شبکه کاملاً معکوس با اندازه تصویر شبکه (ثابت شده) تقریباً بین $25\ \mu\text{m}$ تا 1 mm (مربوط به اندازه‌های زاویه‌ای 1.5 mrad تا 59 mrad) است، در حالی که بیشتر از 1.7 mm (مربوط به اندازه‌های زاویه‌ای بزرگتر از 100 mrad) وابستگی به اندازه لکه وجود ندارد. حدود T_2 و چگالی شار تابش و توان 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 ابزار چشم پزشکی به‌کار نمی‌رود؛ به استاندارد ISO 15004-2 مراجعه کنید.

برای آسیب شبکه ایجاد شده به‌صورت فوتوشیمیایی، وابستگی به اندازه لکه برای تصویر ثابت شده وجود ندارد. برخلاف سازوکار آسیب گرمایی، آستانه‌ها برای آسیب فوتوشیمیایی کاملاً به طول موج و دوز پرتوگیری وابسته هستند، یعنی آستانه‌ها به‌طور معکوس با طولانی کردن مدت زمان پرتوگیری کاهش می‌یابند. بررسی‌های آسیب فوتوشیمیایی شبکه حاصل از قوس‌های جوشکاری زاویه‌های محدود شده در اندازه 1 mrad تا 1.5 mrad نشان داده که اندازه آسیب در مرتبه $185\ \mu\text{m}$ تا $200\ \mu\text{m}$ (مربوط به زاویه‌های دید 11 mrad تا 12 mrad) به‌طور واضح تاثیر حرکات چشم در حین خیره شدن را نشان می‌دهد؛ این بررسی و بررسی‌های دیگر حرکات چشمین خیره شدن منجر به نتیجه‌گیری MPE ها برای حفاظت در برابر آسیب فوتوشیمیایی شبکه می‌شود.

همچنین این بررسی‌ها منجر به تعیین شدن چگالی شار تابشی MPE ، همان‌طور که بیش از 11 mrad برای مدت زمان‌های پرتوگیری مابین 10 s و 100 s میانگین‌گیری شده است، می‌شود. از این رو، چشمه‌ها با یک حد زاویه‌ای α کمتر از 11 mrad برابر با چشمه‌های نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شوند و مفهوم α_{min} به مشاهده لیزر موج پیوسته بسط داده می‌شود. این تقریب خیلی صحیح نبود، چون یک چگالی شار تابشی اندازه‌گیری شده از یک چشمه 11 mrad با چگالی شار تابشی میانگین‌گیری شده بیش از میدان دید (γ) 11 mrad برابر نیست مگر این که چشمه، توزیع تابندگی مستطیلی (کلاه استوانه‌ای) داشته باشد. بنابراین، در این ویرایش از استاندارد، تمایزی میان حد زاویه‌ای یک چشمه و چگالی شار تابشی میانگین‌گیری شده برای مقادیر MPE ، ایجاد شده است. برای مشاهده زمان‌های اضافه شده بین 30 s تا 60 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 فووا برای مدت زمان‌های بزرگتر از 100 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 1.5 mrad برای تمامی مدت زمان‌های پرتوگیری مورد استفاده در ارزشیابی خطر گرمایی شبکه باقی می‌ماند. با این حال برای ارزیابی خطر فوتوشیمیایی شبکه، 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 تقریباً 11 mrad به کار 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 شبکه می‌تواند طوری فرض شود که تقریباً با پراش محدود برای چشمه لیزر واقعی که در فاصله‌ای به نزدیکی 100 mm 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 شبکه 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 موازی شده با دوربین دو چشمی یا یک تلسکوپ، نزدیکترین فاصله 2 m با یک روزنه 50 mm براساس نزدیکترین فاصله برای مشاهده تمیز فرض شده است. برای اهداف این استاندارد، کمترین فاصله تطابق چشم انسان 100 mm در تمامی طول‌موج‌ها از 400 nm تا 1400 nm تنظیم می‌شود. این به‌عنوان یک توافق انتخاب شده است، زیرا که تقریباً تعداد کمی از جوانان و تعداد خیلی کمی از نزدیک‌بین‌ها نمی‌توانند چشم‌های خود را با فواصل کمتر از 100 mm وفق دهند. این فاصله ممکن است برای اندازه‌گیری چگالی شار تابشی در مورد مشاهده درون باریکه‌ای استفاده شود. (جدول ۱۰ 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 ۱۰ s هدایت گرمایی مجدداً انرژی گرمایی را به‌طوری‌که اثر عمق نفوذ آن قدر 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 فرورسرخ (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 و توده‌ای 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 ۱۵۰۰ nm 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. روزه‌های 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، با این حال تجزیه و تحلیل خطر و

تعیین شرایط پرتوگیری قابل پیش‌بینی، ضروری است. انتخاب روزنه اندازه‌گیری در استنتاج *AEL*ها نقش دارد و 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 به کار برده شده‌اند.

جدول ت-۲- توضیح روزنه‌های اندازه‌گیری به کار برده شده برای *MPE*ها

باند طیفی λ nm	مدت زمان پرتوگیری t	قطر روزنه mm	دیدگاه‌ها و دلایل منطقی برای قطر روزنه
۱۸۰ تا ۴۰۰	$t < 3 \times 10^4$ s	۱ mm	پخش در اپیتلیوم قرنیه و در استراتم کورنیوم منجر به ۱ mm می‌شود، فرض هیچ حرکتی از بافت در معرض قرار گرفته برای شرایط پرتوگیری پیوسته توسط IEC به کار گرفته می‌شود. به هر حال ICNIRP ۳/۵ میلی‌متری را برای پرتوگیری طولانی مدت ناشی از حرکات چشم توصیه می‌کند.
۴۰۰ تا ۶۰۰ فوتوشیمیایی	$t > 10$ s	۳ میلی‌متر در استنتاج از <i>MPE</i> اما ۷ mm استفاده شده برای اندازه‌گیری	حرکت جانبی ۳ mm قطر مردمک در فضا، برای تولید روزنه ۷ mm به‌طور متوسط برای پرتوگیری‌های قابل کاربرد موج پیوسته برای مکانیزم آسیب فوتوشیمیایی
۴۰۰ تا ۱۴۰۰ گرمایی	تمام t	۷ mm	قطر مردمک بزرگ شده و حرکت جانبی در پرتوگیری موج پیوسته
$10^5 > \lambda \geq 1400$	$t < 0.35$ s	۱ mm	پخش گرمایی در بافت‌های استراتم کورنیوم و اپیتلیال
	$0.35 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$ $t > 10 \text{ s}$	$1.5 \times t^{3/8}$ mm ۳.۵ mm	پخش گرمایی بیشتر و حرکت بافت هدف نسبت به باریکه پس از ۰.۳۵ s
$10^5 \leq \lambda \leq 10^6$	تمام t	۱۱ mm	روزنه بزرگتر از حد پراش (یعنی تقریباً ۱۰ برابر) برای اندازه‌گیری دقیق باشد.

- [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 WOLBARSH, 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 بیان شده به عنوان تابندگی

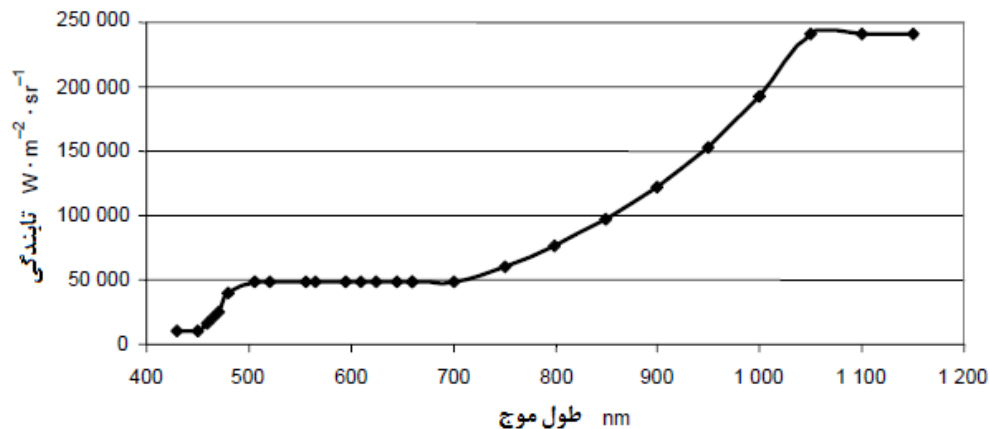
ث-۱ پیش زمینه

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 تا ۱۴۰۰ 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 در نظر گرفتن اپتیک قرار گرفته در جلوی یک چشمه پراکنده افزایش دهند.

ث-۲ مقادیر تابندگی

مقادیر تابندگی در جدول ث-۱ براساس ترازهای MPE ، IEC/ICNIR هستند. از آنجایی که 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 به عنوان تابعی از طول موج رسم شده‌اند (به بند ث-۳ رجوع شود).

جدول ث-۱ مقادیر پرتوگیری مجاز تابندگی را به عنوان تابعی از طول موج برای مدت زمان پرتوگیری ۱۰۰ s در جایی که حدود زاویه‌ای α برای یک زاویه بزرگتر یا مساوی ۱۰۰ mrad هستند، ارائه می‌دهد. محدودکننده‌ترین حدود، فوتوشیمیایی یا گرمایی ذکر شده‌اند. حدود خطر فوتوشیمیایی شبکیه در سبک ایتالیکن در جدول مشخص شده‌اند.



شکل ث-۱- منحنی تغییرات تابندگی بر حسب طول موج

جدول ث-۱- بیشینه تابندگی چشمه پراکنده برای طبقه ۱

تابندگی $W \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$	تابندگی $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	طول موج nm
۱	۱۰۰۰۰	۴۳۰
۱	۱۰۰۰۰	۴۵۰
۱,۵۸	۱۵۸۱۴۸	۴۶۰
۲	۱۹۹۵۲	۴۶۵
۲,۵۱	۲۵۱۱۹	۴۷۰
۳,۹۸	۳۹۸۱۱	۴۸۰
۴,۸۳	۴۸۳۱۶	۵۰۵
۴,۸۳	۴۸۳۱۶	۵۲۰
۴,۸۳	۴۸۳۱۶	۵۵۵
۴,۸۰	۴۸۳۱۶	۵۶۵
۴,۸۳	۴۸۳۱۶	۵۹۵
۴,۸۳	۴۸۳۱۶	۶۱۰
۴,۸۳	۴۸۳۱۶	۶۲۵
۴,۸۳	۴۸۳۱۶	۶۴۵
۴,۸۳	۴۸۳۱۶	۶۶۰
۴,۸۳	۴۸۳۱۶	۶۶۰
۴,۸۳	۴۸۳۱۶	۷۰۰

جدول ث-۱- ادامه

۶,۰۸	۶۰۸۲۶	۷۵۰
۷,۶۶	۷۶۵۷۶	۸۰۰
۹,۶۴	۹۶۴۰۳	۸۵۰
۱۲,۱۳	۱۲۱۳۶۵	۹۰۰
۱۵,۲۸	۱۵۲۷۸۹	۹۵۰
۱۹,۲۴	۱۹۲۳۵۰	۱۰۰۰
۲۴,۱۶	۲۴۱۵۸۰	۱۰۵۰
۲۴,۱۶	۲۴۱۵۸۰	۱۱۰۰
۲۴,۱۶	۲۴۱۵۸۰	۱۱۵۰

ث-۳ توضیح اصول و عقاید

مقادیر تابندگی با استفاده از ترازهای $MPE/IEC/ICNIR$ محاسبه شده‌اند. از آنجایی که مقادیر MPE معمولاً بر حسب 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 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:

$$L = \frac{d\Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos \theta} \quad (\text{ث-۱})$$

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:

$$L = \frac{dE}{d\Omega \cdot \cos \theta} \quad (\text{ث-۳})$$

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 $\theta=0$ (ناظر مستقیماً به باریکه نگاه می‌کند)، معادله ث-۳ به‌صورت زیر ساده می‌شود:

$$L = \frac{4E}{\pi\alpha^2} \quad (\text{ث-۵})$$

برای MPE های بیان شده برای چگالی انرژی، روش کمی متفاوت استفاده شده است. چگالی انرژی به صورت زیر تعیین شده است :

$$H = \frac{dQ}{dA} \quad (\text{ث-۶})$$

که در آن Q انرژی تابشی در واحد ژول بیان شده است. با تقسیم بر زمان به دست می آید :

$$\frac{H}{dt} = \frac{dQ}{dA \cdot dt} \quad (\text{ث-۷})$$

توان تابشی به صورت زیر بیان شده است :

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (\text{ث-۸})$$

معادله ث-۸ می تواند در معادله ث-۷ جایگزین شده، در نتیجه به دست می آید :

$$\frac{H}{dt} = \frac{d\Phi}{dA} \quad (\text{ث-۹})$$

با برگشتن به معادله ث-۱، معادله ث-۹ را جایگزین کرده تا به دست آید :

$$L = \frac{dH}{d\Omega \cdot dt \cdot \cos \theta} \quad (\text{ث-۱۰})$$

با جایگذاری مجدد معادله ث-۴ و با فرض بدترین حالت $\theta=0$ به دست می آوریم :

$$L = \frac{4H}{\pi \alpha^2 t} \quad (\text{ث-۱۱})$$

برای محاسبات، بدترین حالت حد زاویه ای 100 mrad را برای مدت زمان پرتوگیری 100 s فرض می کنیم. نتایج در جدول ث-۱ و نمودار رسم شده در شکل ث-۱ ذکر شده اند.

پیوست ج

(اطلاعاتی)

جداول خلاصه مشخصات

جدول ج-۱ کمیته‌های 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 بر مبنای واحدهای SI از استاندارد ISO1000 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

تعریف	نماد	واحد	کمیت
طول مسیری است که نور در خلاء در طول مدت ۱,۲۹۹۷۹۲۴۵۸ ثانیه طی می‌کند.	m	متر	طول
	mm	میلی متر	
	μm	میکرومتر	
	nm	نانومتر	
۱ m ²	m ²	متر مربع	مساحت
جرمی معادل جرم نمونه‌ی بین‌المللی (کیلوگرم)	kg	کیلوگرم	جرم
مدت زمان ۹۱۹۲۶۳۱۷۷۰ دوره تابش مربوط به گذار بین دو تراز بسیار ظریف حالت پایه اتم سزیم	s	ثانیه	زمان
فرکانس یک پدیده متناوب برابر با یک چرخه در ثانیه	Hz	هرتز	فرکانس
زاویه تخت بین دو شعاع یک دایره که طولی به اندازه شعاع دایره روی محیط می‌سازد.	rad	رادیان	زاویه تخت
	mrad	میلی رادیان	
زاویه فضایی که راس آن در مرکز کره‌ای قرار دارد که مربعی به طول شعاع کره روی سطح می‌سازد.	sr	استرادیان	زاویه فضایی
۱ m·kg·s ⁻²	N	نیوتن	نیرو
۱ N·m	J	ژول	انرژی
۱ J·m ⁻²	J·m ⁻²	ژول بر متر مربع	چگالی انرژی
۱ J·m ⁻² ·sr ⁻¹	J·m ⁻² ·sr ⁻¹	ژول بر متر مربع استرادیان	انتگرال تابندگی
۱ J·s ⁻¹	W	وات	توان
۱۰ ^{-۳} W	mW	میلی وات	
۱ W·m ⁻²	W·m ⁻²	وات بر متر مربع	چگالی شار تابشی
۱ W·m ⁻² ·sr ⁻¹	W·m ⁻² ·sr ⁻¹	وات بر متر مربع استرادیان	تابندگی

یادآوری- مضارب به‌طور مناسب در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ج-۲- خلاصه الزامات سازنده

طبقه‌بندی							الزامات	
طبقه ۴	طبقه 3B	طبقه 3R	طبقه 2M	طبقه ۲	طبقه 1M	طبقه ۱	زیربندها	
توان بالا، بازتاب‌های پراکنده ممکن است خطرناک باشند.	مشاهده درون باریکه‌ای معمولاً خطرناک است.	مشاهده درون باریکه‌ای ممکن است خطرناک باشد.	برای طبقه ۲ به‌جز زمانی که کاربر ابزار اپتیکی را به‌کار گیرد ممکن است بیشتر خطرناک باشد.	توان پایین، حفاظت چشم به‌طور معمول با واکنش خود چشم تامین می‌شود.	برای طبقه ۱ به‌جز زمانی که کاربر ابزار اپتیکی را به‌کار گیرد ممکن است خطرناک باشد.	تحت شرایط قابل پیش‌بینی ایمن است.	توصیف خطر طبقه پیوست پ	
برای هر محصول لیزری لازم است؛ محدودیت‌های دسترسی برای عملکرد اجرایی محصولات ضروری است.							بدنه محافظ ۲-۶	
برای جلوگیری از برداشتن درپوش تا مقادیر گسیل قابل دسترسی که زیر آن مقدار برای طبقه 3R یا 3B برای اغلب محصولات هستند، طراحی شده است.			برای جلوگیری از برداشتن درپوش تا مقادیر گسیل قابل دسترسی که زیر آن مقدار برای طبقه 3R هستند، طراحی شده است.				قفل همبندی ایمنی در بدنه محافظ ۳-۶	
اجازه اضافه کردن قفل همبندی اضافی را در نصب لیزر می‌دهد.							لازم نیست.	قفل همبندی از راه دور ۴-۶
اگر قطع شده یا همبند از راه دور فعال شود، بازنشانی دستی لازم است.							لازم نیست.	بازنشانی دستی ۵-۶
لیزر زمانی که کلید برداشته شده در حال کار است.							لازم نیست.	کنترل کلیدی ۶-۶
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.							لازم نیست.	دستگاه هشدار گسیل ۷-۶

جدول ج-۲- ادامه

طبقه‌بندی							الزامات	
طبقه ۴	طبقه 3B	طبقه 3R	طبقه 2M	طبقه ۲	طبقه 1M	طبقه ۱*	زیربندها	
وسیله‌ای برای قطع موقتی باریکه می‌دهد.							لازم نیست.	تضعیف کننده ۸-۶
کنترل‌ها طوری قرار گرفته‌اند که خطر پرتوگیری AEL بیش از طبقه‌های ۱ و ۲ هنگامی که تنظیمات انجام شده‌اند وجود ندارد.						لازم نیست.	کنترل‌های وضعیت ۹-۶	
گسیل از تمامی سامانه‌های مشاهده باید زیر AEL طبقه 1M باشد.							لازم نیست.	اپتیک مشاهده‌ای ۱۰-۶
خرابی روبش نباید موجب افزایش طبقه‌بندی محصول شود.							روبشی ۱۱-۶	
				شکل‌های ۱ و ۲ و جمله‌بندی مورد نیاز		جمله‌بندی مورد نیاز	برچسب طبقه ۲-۷ تا ۷-۷	
جمله‌بندی معین مورد نیاز							لازم نیست.	برچسب روزنه ۸-۷
					جمله‌بندی معین مورد نیاز		لازم نیست	برچسب خروجی تابش ۹-۷
				روی محصول یا در دفترچه اطلاعات کاربر مورد نیاز جمله‌بندی معین مورد نیاز است.			برچسب اطلاعات استانداردها ۹-۷	
					متناسب با طبقه تابش قابل دسترس مورد نیاز است.		لازم نیست.	برچسب دسترسی تعمیر ۱-۱۰-۷
تحت شرایط خاص، متناسب با طبقه‌ی لیزر استفاده شده مورد نیاز است.							برچسب غیر فعال کردن قفل همبندی ۲-۱۰-۷	

جدول ج-۲- ادامه

طبقه بندی							الزامات
طبقه ۴	طبقه 3B	طبقه 3R	طبقه 2M	طبقه ۲	طبقه 1M	طبقه ۱	زیربندها
برای گستره طول موجی خاص مورد نیاز است.							برچسب گستره طول موج ۱۰-۷ و ۱۲-۷
لازم نیست.		جمله بندی زمانی که در نزدیکترین نقطه دسترسی انسان (روزنه ۳/۵mm) از AEL طبقه 3B بیشتر شود مورد نیاز است.					برچسب خطر سوختگی ۷-۱۳
دفترچه روش کار باید شامل دستورالعمل‌هایی برای استفاده ایمن باشد. الزامات اضافی برای طبقه 1M و طبقه 2M به کار می‌روند.							اطلاعات کاربر ۱-۸
بروشورهای توسعه‌یابید طبقه بندی محصول را تعیین کند؛ دفترچه تعمیر باید شامل اطلاعات ایمنی باشد.							اطلاعات خرید و تعمیر ۲-۸
برای ایمنی محصولات لیزر پزشکی استاندارد ملی ایران آی ای سی ۲۲-۲-۶۰۶۰۱ می-تواند بکار می‌رود.		لازم نیست.					محصولات پزشکی ۲-۹
* 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 برای محصولات لیزری طبقه 1C در این جدول گنجانده نشده است؛ در این استاندارد الزاماتی که کلی تر 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 استاندارد IEC 60825 برای استفاده در ارتباط با استاندارد اصلی IEC 60825-1 در نظر گرفته شده‌اند. 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 نظر گرفتن 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	ارائه	کاربر محصول	ارائه دهنده	روش	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 ارائه می‌دهد)	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	
۳	گزارش فنی	راهنمای نشانگرها و نمایش‌های لیزری	خیر	خیر	بلی	خیر	خیر	بلی	
۴	استاندارد	حفاظت‌های لیزر (اطلاعات طراحی و ساختاری را برای حفاظت‌های 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 (صرف‌نظر شده)								
۷	مشخصات فنی (صرف‌نظر شده)								
۸	گزارش فنی	راهنمایی‌هایی برای استفاده ایمن از باریکه لیزر برای انسان	خیر	خیر	بلی	خیر	خیر	خیر	آی ای سی ۶۰۶۰۱-۲-۲۲
۹	گزارش فنی	تلفیقی از بیشینه پروتوگوری مجاز تابش اپتیکی غیرهمدوس (چشمه‌های گسترده)	خیر	خیر	بلی	خیر	بلی	بلی	IEC 62471
۱۰	گزارش فنی (صرف‌نظر شده)								
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 اجزای نوری و بافته‌های نوری فعال در سامانه‌های مخابرات فیبر نوری توان بالا	خیر	بلی	بلی	بلی	بلی	بلی	

یادآوری- این جدول برای ارائه‌کنندگان نظر گرفته شده است-متناسط‌اندازدویژه را جهت تکمیل الزامات مشاهده کنید-برخی از قسمت‌های ذکر شده در بالا ممکن است توسط گروه‌های کاربر مورد بحث قرار گیرند-ممکن است به طور رسمیت منتشر نشوند.

پیوست ح

واژه‌نامه

فارسی به انگلیسی

Eyelid	پلک	Cataract	آب مروارید
Beam width	پهنای باریکه	Eyebrow	ابرو
Collateral radiation	تابش جانبی	Tool	ابزار
Laser radiation	تابش لیزر	Remote interlock connector	اتصال دهنده قفل همبندی از راه دور
Scanning laser radiation	تابش لیزر روبشی	Radiant energy	انرژی تابشی
Errant laser radiation	تابش لیزر منحرف شده	Eye Safe	ایمن برای چشم
Visible radiation	تابش مرئی	Fail safe	ایمن در برابر خرابی
Radiance	تابندگی	Rods and cones	استوانه‌ها و مخروط‌ها
Integrated radiance	تابندگی کل	Beam	باریکه
Transmittance	تراگسیل	Collimated beam	باریکه موازی شده
Beam attenuator	تضعیف کننده باریکه	Specular reflection	بازتاب آینه‌ای
Radiant power	توان تابشی	Diffuse reflection	بازتاب پراکنده
Apparent source	چشمه ظاهری	Reflectance	بازتابندگی
Small source	چشمه کوچک	Protective housing	بدنه محافظ
Radiant exposure	چگالی انرژی	Maximum permissible exposure	بیشینه پرتوگیری مجاز
Transmittancedensity	چگالی تراگسیل	Maximum angular subtense	بیشینه حد زاویه ای
Irradiance	چگالی شار تابشی	Beam expander	باریکه گستر
Failure Mode and Effect Analysis	حالت خطا و آنالیز اثر	Shutter	بستاور
Operation	حالت کاری دستگاه	After-Images	پس تصاویر
Thermal hazard limit	حد خطر حرارتی		

Receptor cells	سلول های پذیرنده	Photochemical hazard limit	حد خطر فوتوشیمیایی
Retinal vein	سیاهرگ شبکیه	Minimum angular subtense	حد زاویه ای کمینه
Radiant flux	شار تابش	Angular subtense of the apparent source	حد زاویه ای چشمه ظاهری
Sclera	صلبیه	Accessible emission limit	حد گسیل قابل دسترس
Wavelength	طول موج	Protective enclosure	حصار محافظ
Lens	عدسی	Maximum output	خروجی بیشینه
Bloodvessels	عروق خونی	Dazzle	خیرگی خفیف
Opticnerve	عصب اپتیکی	Glare	خیرگی شدید
Iris	عنابیه	Service panel	دریچه تعمیر
Nominal ocular hazard distance	فاصله اسمی خطر دید	Access panel	دریچه دسترسی
ExtendedNominal ocular hazard distance	فاصله اسمی خطر دید گسترده	Human access	دسترسی انسان
Pulse repetition frequency	فرکانس تکرار تپ	Light emitting diode	دیود نورگسیل
Ultra violet	فرابنفش	Pigment	رنگدانه
Fovea	فووآ	Aperture	روزنه
Cornea	قرنیه	Aperture stop	روزنه بند
Train of pulses	قطاری از تپها	Limiting aperture	روزنه محدود کننده
Beam diameter	قطر باریکه	Total-On-Time-Pulse	روش تپ کل در زمان
Beam path component	قطعات مسیر باریکه	Angle of acceptance	زاویه پذیرش
Workpiece	قطعه کار	limiting angle of acceptance	زاویه محدود کننده پذیرش
Mode -locking	قفل شدگی مد	Vitreoushumour	زجاجیه
Safety interlock	قفل همبندی ایمنی	Aqueoushumour	زالیه
Fail safe safety interlock	قفل همبندی ایمن در برابر خرابی	Cosmetics	زیبایی
Administrative control	کنترل اجرایی	Conjunctiva	سطح داخلی پلک

Pulse duration	مدت زمان تب	Accessible emission	گسیل قابل دسترس
Emission duration	مدت زمان گسیل	Macula	لکه زرد
Pupil	مردمک	Laser	لیزر
Eyelash	مژه	Pulsed laser	لیزر تپی
Defined beam path	مسیر مشخص شده برای باریکه	Time base	زمان مبنا
Laser safety officer	مسئول ایمنی لیزر	Beam stop	متوقف کننده باریکه
Source viewing	مشاهده چشمه	Most restrictive position	محدود کننده - ترین موقعیت
Intrabeam viewing	مشاهده درون باریکه‌ای	Laser product	محصول لیزری
Choroid	مشیمیه	Medical laser product	محصول لیزر پزشکی
Laser energy source	منبع انرژی لیزر	Embedded laser product	محصول لیزری جاسازی شده
Continuous wave	موج پیوسته	Class1 laser product	محصول لیزری طبقه ۱
Field stop	میدان بند	Class 1C laser product	محصول لیزری طبقه 1C
Flash-Blindness	نابینایی لحظه‌ای	Class 1M laser product	محصول لیزری طبقه 1M
Nominal ocular hazard area	ناحیه اسمی خطر دید	Class2 laser product	محصول لیزری طبقه ۲
Laser hazard area	ناحیه خطر لیزر	Class2M laser product	محصول لیزری طبقه 2M
Laser controlled area	ناحیه کنترل شده لیزر	Class 3R and 3B laser product	محصول لیزری طبقه 3R , 3B
Time breakpoints	نقطه انفصال زمان	Class 4 laser product	محصول لیزری طبقه ۴
Maintenance	نگهداری	Demonstration laser product	محصول لیزری نمایشی
Beam divergence	واگرایی باریکه	Contact Mode	مد تماسی
		Exposure duration	مدت زمان پرتو دهی

انگلیسی به فارسی

Access panel	دریچه دسترسی	Class1 laser product	محصول لیزری طبقه ۱
Accessible emission	گسیل قابل دسترس	Class 1C laser product	محصول لیزری طبقه 1C
Accessible emission limit	حد گسیل قابل دسترس	Class 1M laser product	محصول لیزری طبقه 1M
Administrative control	کنترل اجرایی	Class2 laser product	محصول لیزری طبقه ۲
After-Images	پس تصاویر	Class2M laser product	محصول لیزری طبقه 2M
Alpha min	کمینه آلفا	Class 3R and3B laser product	محصول لیزری طبقه 3R, 3B
Angle of acceptance	زاویه پذیرش	Class 4 laser product	محصول لیزری طبقه ۴
Angular subtense of the apparent source	حد زاویه ای چشمه ظاهری	Collateral radiation	تابش جانبی
Aperture	روزنه	Collimated beam	باریکه موازی شده
Aperture stop	روزنه بند	Conjunctiva	سطح داخلی پلک
Apparent source	چشمه ظاهری	Contact Mode	مد تماسی
Aqueoushumour	زلالیه	Continuous wave	موج پیوسته
Beam	باریکه	Cornea	قرنیه
Beam attenuator	تضعیف کننده باریکه	Cosmetics	زیبایی
Beam diameter	قطر باریکه	Dazzle	خیرگی خفیف
Beam width	پهنای باریکه	Defined beam path	مسیر مشخص شده برای باریکه
Beam divergence	واگرایی باریکه	Demonstration laser product	محصول لیزری نمایشی
Beam expander	باریکه گستر	Diffuse reflection	بازتاب پراکنده
Beam path component	قطعات مسیر باریکه	Embedded laser product	محصول لیزری جاسازی- شده
Beam stop	متوقف کننده باریکه	Emission duration	مدت زمان گسیل
Bloodvessels	عروق خونی	Errant laser radiation	تابش لیزر منحرف شده
Cataract	آب مروارید		
Choroid	مشیمیه		

Exposure duration	مدت زمان پرتودهی	Laser safety officer	مسئول ایمنی لیزر
ExtendedNominal ocular hazard distance	فاصله اسمی خطر دید گسترده	Lens	عدسی
Eyebrow	ابرو	Light emitting diode	دیود نور گسیل
Eyelash	مژه	limiting angle of acceptance	زاویه محدودکننده پذیرش
Eyelid	پلک	Limiting aperture	روزنه محدود کننده
Eye Safe	ایمن برای چشم	Macula	لکه زرد
Fail safe	ایمن در برابر خرابی	Maintenance	نگهداری
Fail safe safety interlock	قفل همبندی ایمن در برابر خرابی	Maximum angular subtense	بیشینه حد زاویه ای
Failure Mode and Effect Analysis	حالت خطا و آنالیز اثر	Maximum output	خروجی بیشینه
Field stop	میدان بند	Maximum permissible exposure	بیشینه پرتوگیری مجاز
Flash-Blindness	نابینایی لحظه‌ای	Medical laser product	محصول لیزر پزشکی
Fovea	فووآ	Minimum angular subtense	کمینه حد زاویه ای
Glare	خیرگی شدید	Mode -locking	قفل شدگی مد
Human access	دسترسی انسان	Most restrictive position	محدودکننده-ترین موقعیت
Integrated radiance	تابندگی کل	Nominal ocular hazard area	ناحیه اسمی خطر دید
Intrabeam viewing	مشاهده درون باریکه‌ای	Nominal ocular hazard distance	فاصله اسمی خطر دید
Iris	عنبیه	Operation	حالت کاری دستگاه
Irradiance	چگالی شار تابشی	Opticnerve	عصب اپتیکی
Laser	لیزر	Photochemical hazard limit	حد خطر فوتوشیمیایی
Laser controlled area	ناحیه کنترل شده لیزر	Pigment	رنگدانه
Laser energy source	منبع انرژی لیزر	Protective enclosure	حصار محافظ
Laser hazard area	ناحیه خطر لیزر	Protective housing	بدنه محافظ
Laser product	محصول لیزری		
Laser radiation	تابش لیزر		

Pulse duration	مدت زمان تپ	Service panel	دریچه تعمیر
Pulsed laser	لیزر تپی	Shutter	بستاور
Pulse repetition frequency	فرکانس تکرار تپ	Single fault condition	حالت تک اشکال
Pupil	مردمک	Small source	چشمه کوچک
Radiance	تابندگی	Source viewing	مشاهده چشمه
Radiant energy	انرژی تابشی	Specular reflection	بازتاب آینه‌ای
Radiant exposure	چگالی انرژی	Thermal hazard limit	حد خطر حرارتی
Radiant flux	شار تابشی	Time base	زمان مبنا
Radiant power	توان تابشی	Time breakpoints	نقطه انفصال زمان
Receptor cells	سلول های پذیرنده	Tool	ابزار
Reflectance	بازتابندگی	Total-On-Time-Pulse	روش تپ کل در زمان
Remote interlock connector	اتصال دهنده قفل همبندی از راه دور	Train of pulses	قطاری از تپها
Retinal vein	سیاهرگ شبکیه	Transmittance	تراگسیل
Rods and cones	استوانه‌ها و مخروط‌ها	Transmittancedensity	چگالی تراگسیل
Safety interlock	قفل همبندی ایمنی	Ultra violet	فرابنفش
Scanning laser radiation	تابش لیزر روبشی	Visible radiation	تابش مرئی
Sclera	صلبیه	Vitreous humour	زجاجیه
Service	تعمیر	Wavelength	طول موج
		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