INSO
3501-8
1st.Edition
2017
Identical with
IEC 60825-8:2006

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۸-۳۵۰۱
چاپ اول
۱۳۹۵

ایمنی محصولات لیزری-
قسمت ۸: رهنمودهایی برای به‌کارگیری ایمن باریکه‌های لیزر بر روی انسان

Safety of laser products –
Part 8: Guidelines for the safe use of laser beams on humans

ICS: 31.260

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج ، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸- ۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.1294 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.org.ir

Website: http://www.isiri .gov.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه 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.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف درکمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیر دولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیتهٔ ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که براساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

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

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به‌منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمانها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان استاندارد ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را براساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و درصورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، 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 Electro technical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrology Legal)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«ایمنی محصولات لیزری- قسمت ۸: رهنمودهایی برای به‌کارگیری ایمن باریکه‌های لیزر بر روی انسان»

رئیس:	سمت و/ یا محل اشتغال:
مهاجرانی، عزالدین (دکتری فیزیک)	ریاست پژوهشکده لیزر و پلاسما - دانشگاه شهید بهشتی
دبیر:	
کلیشادی، احمدرضا (کارشناسی الکترونیک)	معاون تجهیزات فناوری اطلاعات و الکترونیک- مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
ابوالحسینی، شهریار (کارشناسی ارشد فیزیک)	مسئول فیزیک بهداشت پژوهشکده لیزر و اپتیک - سازمان انرژی اتمی
اسماعیلی، سحر (کارشناسی ارشد فوتونیک)	مسئول فیزیک بهداشت آزمایشگاه لیزر- مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک
اقرلو، اعظم (کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی)	کارشناس- اداره کل تجهیزات پزشکی
باقرزاده، سیدمرتضی (دکتری فیزیک پزشکی)	مدیر HSE- مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران
پوراکبر صفار، علی (کارشناسی ارشد فیزیک اتمی و مولکولی)	مسئول آزمایشگاه لیزر - مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک
ترکمنی، محمدجواد (دکتری مهندسی مواد)	معاون - مرکز ملی علوم فنون لیزر ایران
داوودی، حسین (کارشناسی ارشد الکترونیک)	مدیر بخش تحقیق و توسعه - شرکت مبتکران دنیای فردا

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/ یا محل اشتغال:**
محمدیان، نسیم (کارشناسی ارشد فیزیک)	دانشجوی دکتری- دانشگاه تربیت مدرس
ملکی، حمیده (کارشناسی ارشد فوتونیک)	کارشناس- مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک
ویراستار:	
رضایی، رامین (کارشناسی الکترونیک)	معاون طرح و توسعه- مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
پیشگفتار	**Error! Bookmark not defined.**
مقدمه	**Error! Bookmark not defined.**
۱ هدف و دامنه کاربرد	**Error! Bookmark not defined.**
۲ مراجع الزامی	**Error! Bookmark not defined.**
۳ اصطلاحات و تعاریف	**Error! Bookmark not defined.**
۴ خطرات، اهداف و اقدامات کنترلی	**Error! Bookmark not defined.**
۵ روش های اجرایی مدیریتی	**Error! Bookmark not defined.**
۶ توصیه‌های آموزشی	**Error! Bookmark not defined.**
۷ شرایط محیطی لیزر	**Error! Bookmark not defined.**
پیوست الف (آگاه دهنده) اثرات زیستی، خطرات، فناوری تجهیزات لیزری	**Error! Bookmark not defined.**
پیوست ب (آگاهی‌دهنده) حفاظبندی پنجره	**Error! Bookmark not defined.**
پیوست پ (آگاهی‌دهنده) فهرست بازبینی برای نصب و راه اندازی لیزر	**Error! Bookmark not defined.**
پیوست ت (آگاهی‌دهنده) آموزش ایمنی لیزر	**Error! Bookmark not defined.**
پیوست ث برنامه زمان‌بندی بازرسی موضوعات ایمنی در کاربردهای لیزر	**Error! Bookmark not defined.**

پیش‌گفتار

استاندارد «ایمنی محصولات لیزری قسمت ۸: رهنمودهایی برای به‌کارگیری ایمن باریکه‌های لیزر بر روی انسان» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربـوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی به‌عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در پانصد و چهلمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد مهندسی پزشکی مورخ ۱۳۹۵/۱۲/۳ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به‌عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است.

IEC 60825-8: 2006, Safety of laser products – Part 8: Guidelines for the safe use of laser beams on humans

مقدمه

لیزرها تابش‌های نور مرئی و/یا نامرئی گسیل می‌کنند. در بعضی موارد این تابش یک باریکه موازی تقریباً بدون هیچ واگرایی است. این یعنی اینکه **چگالی شار تابشی** زیاد ذاتی لیزر می‌تواند تا مسافت‌های چشمگیری حفظ شود. به‌این دلیل، باریکه را می‌توان بر روی ناحیه خیلی کوچکی متمرکز کرد که می‌تواند برای چشم یا پوست خطرآفرین باشد. پیوست الف شامل توضیحاتی در مورد سامانه‌های لیزری و بعضی کاربردهای پزشکی است.

لیزرها می‌توانند مخاطراتی برای هرکس که در طی فعالیت لیزر حضور دارد، داشته باشند. خطرات جراحت به‌خصوص در چشم و/یا تاثیرات نامطلوب، می‌تواند در اثر نبود اقدامات حفاظتی، استفاده از تجهیزات لیزری معیوب، باریکه‌های با هدف‌گیری نادرست یا تنظیمات کنترلی نامناسب لیزر، به‌وجود آید.

هدف این راهنما تعیین نحوه و چگونگی در نظرگرفتن جنبه‌های ایمنی لیزر در استفاده از لیزر پزشکی می‌باشد. انتشار آن به‌عنوان یک استاندارد، نشان می‌دهد که قصد بر ارجح داشتن آن بر راهنماهای ملی موجود یا پیشنهادی نبوده است. با این حال، در جایی که هیچ راهنمای ملی وجود نداشته باشد، این راهنما می‌تواند مفید واقع شود.

اگرچه کاربر **کارور** لیزر، مسئول مستقیم ایمنی در مدت زمان استفاده از لیزر است، لیکن این مسئولیت کارفرما است که چارچوبی را برای استفاده ایمن از سامانه برقرار نماید. این راهنما شدیدا خواهان (مدافع) انتصاب **مسئول ایمنی لیزر** به منظور ارائه توصیه‌های تخصصی به کارفرما و همه‌ی کارکنان درگیر با عملیات لیزر است. این راهنما بر نیاز به آموزش مناسب ایمنی لیزر برای تمام کارکنانی که در زمینه نصب و راه‌اندازی، به‌کارگیری، تعمیر و نگهداری لیزری و سایرخدمات مرتبط دخالت دارند، تأکید دارد.

مجموعه استانداردهای ۳۵۰۱ در مورد ایمنی محصولات لیزری است. قسمت‌هایی از این مجموعه که انتشار یافته و یا در دست تدوین است عبارتند از:

استاندارد ملی ایران- ایمنی محصولات لیزری- قسمت ۱: طبقه‌بندی و الزامات تجهیزات

استاندارد ملی ایران- ایمنی محصولات لیزری- قسمت ۲: ایمنی سامانه‌های فیبر نوری

استاندارد ملی ایران- ایمنی محصولات لیزری- قسمت ۳: راهنمایی برای نمایش‌های لیزری

استاندارد ملی ایران- ایمنی محصولات لیزری- قسمت ۴: حفاظ‌های لیزری

استاندارد ملی ایران- ایمنی محصولات لیزری- قسمت ۵: فهرست بازبینی تولیدکننده

استاندارد ملی ایران- ایمنی محصولات لیزری- قسمت ۸: راهنمایی برای استفاده ایمن از باریکه لیزر روی انسان

استاندارد ملی ایران- ایمنی محصولات لیزری- قسمت ۱۲: ایمنی سامانه‌های مخابراتی نوری فضای باز برای استفاده در انتقال اطلاعات

استاندارد ملی ایران- ایمنی محصولات لیزری- قسمت ۱۳: اندازه‌گیری‌ها برای طبقه‌بندی محصولات لیزری

استاندارد ملی ایران- ایمنی محصولات لیزری- قسمت ۱۴: راهنمای استفاده

استاندارد ملی ایران- ایمنی محصولات لیزری- قسمت ۱۷: جنبه‌های ایمنی برای استفاده اجزای نوری غیرفعال و کابل‌های نوری در سامانه‌های ارتباطی فیبر نوری توان بالا

ایمنی محصولات لیزری– قسمت ۸: رهنمودهایی برای به‌کارگیری ایمن باریکه‌های لیزر بر روی انسان

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه رهنمودهایی برای استفاده ایمن لیزرها و تجهیزات لیزری طبقه 3B یا ۴، برای کارفرما، سازمان‌های مسئول، **مسئول ایمنی لیزر، کارور** لیزر و بقیه افراد دست‌اندرکار است. این استاندارد نه تنها همه کاربردهای باریکه‌های لیزر بر روی انسان در زمینه تسهیلات مراقبت از سلامتی، مراکز زیبایی و موزدایی و دندانپزشکی را پوشش می‌دهد، بلکه شامل کاربردهایی در وسایط نقلیه و محل‌های خانگی نیز است.

یادآوری– اگرچه دامنه کاربرد مزبور شامل لیزرهای پایین‌تر از طبقه 3B و ۴ نمی‌شود، بهتر است بیان شود، هنگامی که واکنش-های روی‌گردانی عادی شخص تضعیف شده‌اند یا وجود ندارند، توصیه می‌شود احتیاط ویژه‌ای هنگام استفاده از لیزرهای با سطوح انرژی کمتر از حدود 3B و ۴ در نظر گرفته شود.

این استاندارد اقدامات کنترلی که برای ایمنی بیماران، کارکنان لیزر، کارکنان تعمیر و نگهداری و غیره توصیه می‌شود را شرح می‌دهد. کنترل‌های مهندسی که قسمتی از تجهیزات لیزر یا تأسیسات را تشکیل می‌دهند نیز به‌طور مختصر شرح داده شده‌اند تا منجر به درک اصول کلی حفاظت شود.

این استاندارد برای موارد زیر کاربرد دارد:

- سامانه‌های انتقال باریکه؛
- اثرات بیولوژیک تابش لیزر؛
- ارائه گزارش **حوادث** و وضعیت‌های خطرناک؛
- فهرست‌های بازبینی.

هدف این استاندارد افزایش حفاظت اشخاص در مقابل تابش لیزر و سایر خطرات مرتبط، از طریق ارائه راهنمایی‌هایی در زمینه نحوه برقراری روش‌های اجرایی ایمنی، اقدامات پیشگیرانه و کنترلی کاربر است.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به‌صورت الزامی به آنها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

درصورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.
مراجع الزامی ندارد.

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به‌کار می‌رود:
یادآوری- به اصطلاحات و تعاریف استانداردهای ملی ایران ۱-۳۵۰۱ و ۶۰۶۰۱-۲-۲۲ نیز درصورت لزوم ارجاع داده شده است.

۱-۳

حادثه

accident

وضعیت پیش‌بینی نشده که منجر به وارد شدن جراحت به بیمار و/یا سایر کارکنان می‌شود.

۲-۳

واکنش روی‌گردانی

aversion response

حرکت خودبه‌خودی پلک چشم یا سر به‌منظور اجتناب از پرتوگیری از یک محرک مضر یا نور شدید
یادآوری- در مورد لیزرهای مرئی، فرض بر این‌است که **واکنش روی‌گردانی** طی ۰٫۲۵ ثانیه اتفاق می‌افتد.

۳-۳

سامانه انتقال باریکه

beam delivery system

سامانه نوری که باریکه لیزر را به ناحیه هدف منتقل می‌کند و باریکه لیزر را متمرکز نموده یا شکل می‌دهد و به آن قابلیت مانور می‌دهد.
یادآوری ۱- مثال‌هایی از **سامانه انتقال باریکه** عبارتند از فیبر نوری، دسته درمانی، دست مینیاتوری یا وسیله روبش

یادآوری۲- به زیربند ۲-۱-۱۰۶ در استاندارد ملی ایران ۶۰۶۰۱-۲-۲۲ نیز مراجعه کنید.

۴-۳

رویداد

incident

وضعیت بالقوه خطرناکی که می‌تواند منجر به جراحتی به بیمار و/ یا سایر کارکنان شود.

۵-۳

چگالی شار تابشی

irradiance

توان تابشی تقسیم بر ناحیه پرتودهی‌شده

یادآوری- به استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ نیز مراجعه کنید. **چگالی شار تابشی** بر حسب Wm^{-2} است.

۶-۳

ناحیه کنترل شده لیزر

laser controlled area

ناحیه‌ای که کنترل‌های ایمنی لیزر به‌کار می‌روند.

یادآوری- به استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ نیز مراجعه کنید.

۷-۳

کارور لیزر

laser operator

شخصی که تجهیزات لیزر را مدیریت کرده و به‌طورکلی به‌کارگیری تابش لیزر را در محدوده کاری کنترل می‌کند.

یادآوری- کارور لیزر ممکن است فرد یا افرادی را منصوب کند تا وی را در انتخاب و/ یا تنظیم پارامترها کمک کنند.

۸-۳

مسئول ایمنی لیزر

laser safety officer
LSO

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

(به استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ نیز مراجعه کنید.)

۹-۳

بیشینه پرتوگیری مجاز

maximum permissible exposure
MPE

سطحی از تابش لیزر که در شرایط عادی، پوست یا چشم ممکن است بدون تحمل آثار مضر، درمعرض آن قرار گیرند.

یادآوری-به استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ نیز مراجعه کنید.

۱۰-۳

ناحیه اسمی خطر دید

nominal ocular hazard area
NOHA

ناحیه‌ای که در آن، **چگالی شار تابشی** یا چگالی انرژی ممکن است از **بیشینه پرتوگیری مجاز** تجاوز کند.

یادآوری- به استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ نیز مراجعه کنید.

۱۱-۳

فاصله اسمی خطر دید

nominal ocular hazard distance
NOHD

فاصله‌ای از روزنه لیزر که در آن فاصله، شار تابشی یا چگالی انرژی ممکن است از **بیشینه پرتوگیری مجاز** تجاوز کند.

یادآوری- به استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ نیز مراجعه کنید.

۱۲-۳

کارور

operator

به **کارور** لیزر مراجعه کنید.

۱۳-۳

چگالی نوری

optical density
OD

مقداری که ویژگی تضعیف یک صافی را مشخص می‌کند

یادآوری- برای مثال وقتی مقدار تضعیف ۱۰۰ برابر است، چگالی نوری (OD) برابر ۲ است و وقتی این مقدار ۱۰۰۰۰۰ برابر باشد، چگالی نوری (OD) برابر ۵ است. به استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ نیز مراجعه کنید.

۱۴-۳

مدت زمان تپ

pulse duration

فاصله زمانی اندازه‌گیری شده بین نقاط توان نیم قله در لبه‌های پیشین و پسین یک تپ
(به استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ نیز مراجعه کنید.)

۱۵-۳

چگالی انرژی

radiant exposure

انرژی تابشی تقسیم بر ناحیه پرتودهی شده

یادآوری- به استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ نیز مراجعه کنید. چگالی انرژی بر حسب Jm^{-2} است.

۱۶-۳

توان تابشی

radiant Power

توان گسیل شده، منتقل شده یا دریافت شده به‌صورت تابشی
(به استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ نیز مراجعه کنید.)
یادآوری- توان تابشی بر حسب وات است.

۱۷-۳

اتصال‌دهنده قفل‌همبندی راه‌دور

remote interlock connector

پریز یا پایانه‌ای بر روی تجهیزات لیزری که امکان اتصال یک **قفل‌همبند راه دور** را فراهم می‌کند تا ایجاد وقفه در گسیل لیزر را توسط یک قفل‌همبند در ورودی یا سایر کلیدهای ایمنی بیرونی تأمین کند.

یادآوری- به استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ نیز مراجعه کنید.

۱۸-۳

سازمان مسئول

responsible organization

شخص یا گروهی که مسئولیت استفاده، تعمیر و نگهداری تجهیزات و اطمینان از اینکه **کارورهای** لیزر به اندازه کافی آموزش دیده‌اند را بر عهده دارد.

۱۹-۳

صافی هوا با قابلیت نفوذ بسیار کم

ultra low penetration air filter
ULPA

صافی پر روزنه‌ای[1] که معمولاً برای زدودن ذرات بسیار ریز از توده حاصل از لیزر[2] به‌کار می‌رود.

۴ خطرات، اهداف و اقدامات کنترلی

۴-۱ ریسک برای چشم‌ها

1- porous
2- plume

چشم در معرض خطر صدمه دیدن از تابش لیزری است که بیش از **بیشینه پرتوگیری مجاز** است. به ویژه، تابش لیزری که طول موج بین ۴۰۰ nm و ۱۴۰۰ nm داشته باشد، ممکن است بر روی شبکیه چشم متمرکز و منجر به لطمه دائمی به بینایی شود. به پیوست الف مراجعه کنید.

۴-۱-۱ هدف

هر فردی که در **ناحیه اسمی خطر دید** باشد، بهتر است در مقابل پرتوگیری ناخواسته لیزری که بیش از **بیشینه پرتوگیری مجاز** برای قرنیه است، محافظت شود.

۴-۱-۲ اقدامات کنترلی

۴-۱-۲-۱ عینک محافظ لیزر (عینک‌های حفاظ‌دار یا معمولی)

علاوه بر کنترل‌های دیگری که ممکن است به‌عمل آمده باشد، کارکنان باید محافظ‌هایی برای چشم بپوشند که مشخصاً برای طول‌موج(ها) و خروجی لیزر که به‌کار می‌رود طراحی شده باشد، مگر اینکه هیچ ریسک قابل پیش‌بینی منطقی (براساس ارزیابی **مسئول ایمنی لیزر**، به زیربند پ-۴ مراجعه کنید) در مورد احتمال قرار گرفتن کارکنان در معرض تابش لیزر، فراتر از **بیشینه پرتوگیری مجاز** وجود نداشته باشد. «کارکنان» شامل بیماران، **کارور** لیزر، مسئول بیهوشی، دستیاران و غیره می‌شود. این یکی از وظایف **مسئول ایمنی لیزر** است که عینک مقاوم در برابر سطح توان و انرژی باریکه فعال در شرایط خطر قابل پیش‌بینی منطقی را تعیین کند. زمانی‌که ناحیه هدف نزدیک چشم است، محافظ چشم بیمار باید بدقت انتخاب شود، زیرا که **چگالی شارتابشی** یا **چگالی انرژی** باریکه هدف‌گیری و نیز باریکه فعال ممکن است بیش از **بیشینه پرتوگیری مجاز** باشد. علاوه بر آن ممکن است به‌خاطر بیهوشی یا اثر مسکن‌ها، **واکنش روی‌گردانی** بیمار تغییر کرده باشد.

عینک محافظ لیزر بهتر است به‌طور واضح با طول‌موج(ها) و **چگالی نوری** مرتبط نشانه‌گذاری شود. علاوه بر آن، توصیه شده است که یک روش نشانه‌گذاری بدون ابهام و قوی عینک‌های ایمنی لیزر به‌کار گرفته شود تا اطمینان حاصل شود که ارتباط روشنی با لیزر خاصی که به آن اشاره دارد برقرار است.

وسعت **ناحیه اسمی خطر دید** بر حسب نوع لیزر و خواص نوری اپلیکاتورهایی که استفاده شده است تغییر خواهد کرد. تعیین جای تجهیزات لیزر و بیمار در داخل اتاق می‌تواند بسیار به کنترل جهت پرتودهی و کاهش خطر قرار گرفتن در معرض باریکه‌های سرگردان، کمک کند.

به‌عنوان جایگزینی برای داشتن افراد زیادی در **ناحیه اسمی خطر دید** که مستلزم در دسترس داشتن چندین عینک است، بهتر است نصب یک نمایشگر تصویری از دور در خارج از **ناحیه اسمی خطر دید** مدنظر قرار گیرد.

یادآوری- بعضی نگران هستند که عینک با **چگالی نوری** صحیح، اگر در معرض تابش لیزر با **چگالی شارتابشی** یا **چگالی انرژی** خیلی بالا قرار گیرد، ممکن‌است متلاشی شود. استاندارد اروپایی EN 207 2002 حاوی این الزام است که عینک باید در

برابر چنین **چگالی شارتابشی** یا **چگالی انرژی** تا ۱۰ ثانیه مقاومت کند. دربسیاری از کشورهای عضو اتحادیه اروپا، عینک لیزر باید منطبق با این استاندارد باشد. در سایر کشورها، عینک لیزر ممکن است الزاماً انطباق نداشته باشد.

۴-۱-۲-۲ حفاظت از چشم در کار با ابزار اپتیکی مشاهده‌ای

وقتی از ابزار اپتیکی مشاهده‌ای مثل اندوسکوپ، میکروسکوپ، کولپوسکوپ، لامپ‌های شکافی[1] برای مشاهده داخل چشم و سایر ابزار اپتیکی استفاده می‌کنید، شخصی که از عدسی چشمی نگاه می‌کند بهتر است از طریق یک صافی مناسب یا قطع‌کننده جهت کاهش خطر ناشی از بازتاب در کانال بصری حفاظت شود. در مورد ابزار اپتیکی تک‌چشمی، توصیه می‌شود به حفاظت از چشمی که پوشش محافظ ندارد توجه شود.
استفاده از یک اندوسکوپ ویدیویی می‌تواند بر مشکلات تابش منعکس شده در ابزار اپتیکی مشاهده‌ای غلبه کند. با این حال، مصلحت همچنان در این است که تمام افراد حاضر در موقعی که خطر پاره‌شدن فیبر نوری یا امکان روشن شدن لیزر در زمانی‌که فیبرنوری بیرون از اندوسکوپ است وجود دارد، محافظ‌هایی را بر روی چشم بگذارند. بهتراست **مسئول ایمنی لیزر** ارزیابی این خطر را بر عهده گیرد.

۴-۱-۲-۳ پنجره‌ها

اشخاصی که پشت پنجره‌ها هستند را می توان به‌طور مناسبی با پارچه کدری که به‌طور موقت در داخل اتاق به پنجره‌ها نصب یا تاب آنها باز می‌شود، محافظت نمود. برای لیزرهای دی‌اکسیدکربن یا سایر لیزرهایی که گسیلی با طول‌موج‌های بیش از حدود ۴۰۰۰ nm دارند، ممکن است شیشه یا پلاستیک به اندازه کافی جاذب باریکه باشند. بهتر است پنجره‌ها و حفاظ‌ها حفاظت کافی را در برابر **چگالی شار تابشی** برای مدت زمان پرتوگیری که احتمال دارد در موقع استفاده عادی، آن‌طورکه در ارزیابی خطر انجام شده توسط **مسئول ایمنی لیزر** مشخص شده است، با آن مصادف شود تأمین کند. برای راه‌حل‌های فنی ممکن، به پیوست ب مراجعه کنید.

۴-۱-۲-۴ سطوح بازتاب‌کننده

بازتاب‌های سطوح براق نظیر تجهیزات جراحی ممکن است باریکه لیزر را متمرکز کنند که می‌تواند خصوصاً برای چشم‌ها خطرآفرین باشد. بسته به طول‌موج و شکل باریکه، بازتاب‌های پخش‌شده از نسوج با **چگالی شارتابشی** از لیزرهای طبقه ۴ نیز احتمال دارد خطرآفرین باشند. به‌منظور کاهش خطرآفرینی ناشی از تابش بازتاب شده لیزر، بهتر است موارد زیر لحاظ شوند:
یادآوری- بازتاب‌های پراکنده لیزر طبقه 3B معمولاً خطرناک محسوب نمی‌شوند.

1- Slit lamp

الف- بافت سطح دیوار و سقف

بهتر است سطح دیوار یا سقف به‌گونه‌ای انتخاب شود که بازتاب‌ها به‌کمینه برسند. **مسئول ایمنی لیزر** بهتر است خطرات ناشی از بازتاب‌های احتمالی را مورد توجه قرار دهد. پرداخت کدر از هر رنگی، بازتاب‌ها را به کمینه خواهد رساند.

ب- تجهیزات اتاق

سطوح صیقلی را ممکن‌است در پنجره‌ها، کابینت‌ها، قاب هواکش‌ها، تجهیزات استریل‌کننده، صفحات مشاهده تصاویر اشعه ایکس، نمایشگرهای ویدیویی، چراغ‌های اطاق کار و غیره یافت. سطوح براق ممکن است تابش لیزر را به‌طور غیرقابل پیش‌بینی بازتاب کنند. **مسئول ایمنی لیزر** بهتر است خطرات وابسته را تشخیص دهد و در مورد اقداماتی که باید انجام شود تصمیم‌گیری کند. از فهرست بازبینی مشروح در پیوست پ می‌توان استفاده کرد.

پ- ابزار سنجش

توصیه می‌شود که از بازتاب غیرعمدی باریکه لیزر از جانب ابزار سنجش جلوگیری شود. اگر احتمال داشته باشد که باریکه لیزر به یک ابزار برخورد کند، بهتراست چنین ابزاری را که احتمالاً با یک لیزر استفاده می‌شود:

- اگر جلا داده شده است آن را به‌صورت محدب دارای شعاع کوچک درآورید، یا
- سطح آن را زبر کنید.

توصیه می‌شود **کارور** لیزر نسبت به این موضوع آگاه باشد که سطحی که نور مرئی را منعکس نمی‌کند ممکن است تابش لیزر فروسرخ با طول‌موج بلند نظیر لیزر CO_2 را منعکس کند. ابزار مشکی رنگ ممکن است به اندازه کافی انرژی جذب کندکه داغ شده و باعث سوختگی‌های ناخواسته بر بیمار شود. این ابزار احتمال دارد در طول موج‌های فروسرخ نیز به‌طور چشم‌گیری بازتابنده شوند. وقتی که در قسمت بالایی دستگاه تنفس یا گوارش کار می‌کنید، **کارور** بهتر است در نظر داشته باشد که یک باریکه بازتاب شده یا یک ابزار داغ می‌تواند لوله درون‌نایی[1] را سوراخ و احتمالاً آن را بسیار گرم کند که خطر شعله‌ور شدن آن را خواهد داشت. به پیوست ج نیز مراجعه کنید.

سطوح بازتاب‌کننده را گاهی برای منحرف‌کردن انرژی لیزر به داخل مکان فعالیتی که با روش‌های دیگر غیرقابل دسترس است به‌کار می‌برند. آینه‌ها یا سایر ابزار منعکس‌کننده بهتر است مناسب طول‌موج‌های لیزر و توان‌ها یا انرژی‌هایی که به‌کار گرفته شده‌اند باشند.

یادآوری- در صورت استفاده ازلیزرهای توان بالا، ممکن است آینه‌های شیشه‌ای متلاشی شوند.

1- endotrachela

۴-۲ ریسک برای پوست

اگرچه آسیب شدید پوستی ناشی از پرتوگیری با تابش لیزر احتمال کمی دارد که بر کیفیت زندگی شخص اثر بگذارد، باید بپذیریم که پوست، هدف بسیار وسیع‌تری در مقایسه با چشم است و بنابراین احتمال پرتوگیری آن ممکن است بیشتر باشد. نگرانی ویژه از بابت پرتوگیری پوست با تابش لیزر کمتر از nm ۴۰۰ است که می‌تواند خطر سرطان پوست را افزایش دهد. به پیوست الف مراجعه کنید.

۴-۲-۱ هدف

تمام کارکنان شامل بیماران/ ارباب‌رجوع بهتر است به‌طور مناسبی در برابر پرتودهی خطرناک ناخواسته لیزر محافظت شوند.

۴-۲-۲ اقدامات کنترلی

توصیه می‌شود **مسئول ایمنی لیزر** استفاده از پوشش یا پرده‌های مناسب با قابلیت اشتعال کم که براساس ارزیابی ریسک مرتبط معلوم شده‌است را پیشنهاد یا تایید کند، به پیوست پ مراجعه‌کنید. زمانی که با لیزر محدوده فرابنفش کار می‌کنید، به‌منظور جلوگیری از قرمز شدن پوست بهتر است استفاده از یک کرم محافظ پوست را مورد توجه قرار دهید.

۴-۳ خطرات آتش و سوختگی

لیزرهای طبقه ۴ ممکن است آنقدر انرژی تولید کنند که برای شعله‌ور ساختن مواد قابل اشتعال، به‌خصوص (به ویژه) در فضاهای غنی (مملو) از اکسیژن، کافی باشد.

۴-۳-۱ هدف

توصیه می‌شود تمام کارکنان شامل بیماران/ ارباب‌رجوع به‌طور مناسبی در برابر سوختگی‌ها محافظت شوند.

۴-۳-۲ روش‌های انطباق

۴-۳-۲-۱ سوختگی‌های درون‌نایی

زمانی‌که در حال عمل جراحی لیزری مجرای تنفسی در کنار لوله‌های درون‌نایی هستید، بهتر است لوله حفاظت کافی یا طراحی ویژه‌ای داشته باشد که احتمال بروز آتش را کم‌کند. برای اطلاعات تفصیلی‌تر در مورد این موضوع، به ISO/TR 11991 مراجعه کنید. خطرآفرینی‌های مرتبط با لوله‌های درون نایی، مواد پلاستیکی، نوار چسب‌ها، پمادها و محلول‌های آماده‌سازی جراحی را می‌توان به روش‌های گوناگون کنترل کرد. این روش‌ها شامل (ولی نه محدود به) استفاده از ابزار جراحی غیرقابل احتراق، فنون تهویه ونتوری (جهشی)، غلافی از مواد

خیس پوشاندن و به‌کار گرفتن ترکیبات گازی با درجه احتراق پایین است. کارکنان هوش‌بری بهتراست از لوله‌های غیرقابل اشتعال که به‌طور ویژه تولید شده‌اند یا لوله‌هایی مقاوم در برابر لیزر با حفاظت کافی، استفاده کنند. لوله‌های پلاستیکی و لاستیکی استاندارد به ویژه خطرآفرین هستند و بهتراست از آنها اجتناب کرد مگر - اینکه عملاً جایگزینی برای آن‌ها نباشد. در رابطه با نوارهای فلزی که به‌طور حلزونی پیچیده شده‌اند، حوادثی بروزکرده و لذا بهتراست از آنها اجتناب کرد. چنانچه از نظر پزشکی هیچ راه علاج دیگری نباشد، پاکتیِ لوله درون‌نایی را بهتر است با مایع متورم کرد و با تنظیف‌های خیس از بیرون محافظت نمود.
از آنجا که احتراق ممکن است در دستگاه تنفسی/ گوارشی در تراکم‌های بالای اکسیژن یا در مجاورت گازهای اکسیدکننده (اکسید ازت) رخ‌دهد، بهتراست در روش‌های اجرایی حنجره-نایی از پایین‌ترین تراکم ممکن اکسیژن استفاده شود. در بعضی موارد که از فیبرهای هم‌محوراستفاده می‌شود، می‌توان گاز کربنیک را با سرعت کم از فیبر به پایین فرستاد تا قابلیت اشتعال در محل هدف لیزر را به کمینه رساند. باید مواظبت شود که $p(O_2)$ پایش شود.

یادآوری- توصیه می‌شود با متخصص هوش‌بری مشورت شود. یک سرعت متداول $۲۵۰ cm^3$ در دقیقه است.

۴-۳-۲-۲ احتراق درونی

به‌منظور اجتناب از احتراق گازهای درونی نظیر متان در دستگاه معده‌ای-روده‌ای، بهتراست روش‌های تهویه موضعی به‌کار گرفته شود.

۴-۳-۲-۳ سوختگی‌های آندوسکوپی

باید مواظب بود که جدار فیبرنوری قابل انعطاف اندوسکوپ‌ها در معرض باریکه لیزر قرارنگیرد زیرا اغلب این جدارها قابل اشتعال هستند. در مورد سامانه‌های لوله‌ای فلزی درون فرستی (برای مثال برونکوسکوپ‌ها[1]، لاپاراسکوپ‌ها[2]، لارینگوسکوپ‌ها[3])، بهتر است از گرم کردن دیواره اجتناب کرد تا خطر آسیب حرارتی به بافت مجاور به کمینه برسد.
توصیه می شود **کارور**، قرار گرفتن مناسب فیبر انتقال لیزر (یا موج‌بر) در درون اندوسکوپ را، قبل از رهاکردن باریکه بررسی کند. از جمله باید:

- یکپارچگی نقطه هدف وارسی شود؛
- فیبرنوری را به قدرکافی به داخل بفرستد به‌طوری که نوک آن در اندوسکوپ دیده شود. باید درک کنیم که نوک فیبرنوری در موقع انتقال لیزر ممکن است بسیار گرم شود و احتمال دارد که موجب آسیب حرارتی به اندوسکوپ یا (درصورت تماس) به بافت شود اگرچه نقطه هدف عادی به‌نظر برسد.

1- bronchoscope
2- laparoscope
3- laryngoscope

توصیه می‌شود در موقع انجام اندوسکوپی در یک محیط غنی از اکسیژن، احتیاط شود.

۴-۳-۲-۴ محلول‌های تمیزکننده، ضد عفونی و هوش‌بری

هر محلول جدیدی که همراه یک لیزر به‌کار می‌رود باید قبل از استفاده، از نظر قابلیت اشتعال وارسی شود. **کارور** بهتر است استفاده از مواد غیرقابل اشتعال را مورد توجه قراردهد (مثلاً موادی که عمده‌اش آب است). اگر نمی‌توانید از به‌کارگیری مواد قابل اشتعال اجتناب کنید، بهتر است فرصت بدهید تا آن ماده کاملاً پخش شود.

۴-۳-۲-۵ پرده‌ها و پوشش‌ها

توصیه می‌شود اسفنج‌ها، نوارهای پانسمان و گلوله‌های پنبه که نزدیک به محوطه کاری لیزر قراردارند با آب ضدعفونی شده یا با آب نمک خیس شوند. اگر از تجهیز لیزر طبقه ۴ استفاده می‌شود، ممکن است پرده‌های اطاق عمل لیزر آتش بگیرند. بهتر است آن ناحیه از پرده که نزدیک محدوده عمل است را با آب نمک یا آب ضدعفونی شده، نمدار نگه داشت. در هر حال باید توجه شود که به وضعیت ضد عفونی بودن ممکن است لطمه بخورد و خطر نشت جریان برق می‌تواند بروز کند.
اگر دسته درمانی لیزر بر روی ناحیه خشکی از پرده ضدعفونی شده قرار داده شود، با به‌کار افتادن تصادفی لیزر یا اگر دسته لیزری پس از استفاده داغ باشد، ممکن است پرده آتش بگیرد. شاید به این امر بی‌توجهی شود، پس باید این موضوع به‌صورت یک روال شود که یا روزنه لیزر توسط یک کلاهک مقاوم به لیزر پوشانده شود یا اینکه در زمان بروز وقفه در روند کار، دسته درمانی لیزر در یک گیره ایمن گذاشته شود و/یا تجهیز لیزری در حالت آماده به‌کار قرار داده‌شود. هرگز نباید سامانه انتقال لیزر بر روی بیمار یا در شرایط کنترل نشده رها شود. به ISO 11810-1 و ISO 11810-2 مراجعه کنید.

۴-۴ دودها، گازها و بخارها

بخارشدن بافت هدف در اکثر عملیات لیزر طبقه ۴، آلاینده‌هایی زیان‌آوری تولید می‌کند که از راه هوا منتقل می‌شوند. دوده ممکن است حاوی ذرات ویروسی با اندازه تنفسی ۰٫۱ µm باشد.

۴-۴-۱ هدف

بهتر است دودها، گازها و بخارهای تولیدشده از لیزر از محیط عملیات زدوده شوند تا سطحی به‌وجود آید که قابل قبول محسوب شود.

۴-۴-۲ اقدامات کنترلی

۴-۴-۲-۱ سامانه‌های اختصاصی تخلیه دود

ماسک‌ها، ازجمله ماسک‌های خاص جراحی لیزری، برای استفاده به عنوان روش اصلی صافی‌کردن (تصفیه) توصیه نمی‌شوند.

آلاینده‌هایی که از راه هوا منتقل می‌شوند، بهتر است تا جایی که عملی است از نزدیک‌ترین محل به منبع گرفته شوند و از طریق دستگاه تهویه موضعی به بیرون رانده شوند. طراحی سامانه تخلیه بهتر است تضمین کند که هیچ ماده بالقوه عفونی در سامانه تنظیم/ برون‌دهی هوا، همراه جریان هوا منتقل نمی‌شود. این کار را می‌توان با یک استخراج دود انجام داد که از صافی‌های هوا با قابلیت نفوذ فوق‌العاده کم (ULPA)[1] (برای ذرات با ابعاد کمینه (۰٫۱ µm) استفاده می‌کند و در این اندازه از ذرات، راندمان پالایش آن کمتر از ٪۹۹٫۹۹۹ نیست. استخراج موضعی دود، ضایعات سلولی و بخارها را هم بیرون می‌راند و بدین ترتیب قابلیت دید بیشتر برای دقت و ایمنی افزون‌تر را فراهم می‌آورد.

صافی‌های قابل تعویض بهتراست بر اساس توصیه‌های تولیدکننده و طبق یک روال منظم، بازبینی و تعویض شوند.

۴-۴-۲-۲ ذرات بسیار سریع

بهتر است به حفاظت چشم‌ها و دستگاه تنفسی از ذراتی که ممکن است با سرعت زیاد از محل هدف پرتاب شوند توجه شود. اگر عینک‌های ایمنی لیزر روی چشم گذاشته شوند، می‌توان پذیرفت که حفاظت کافی را برای چشم‌ها فراهم می‌آورند.

۴-۴-۲-۳ توده حاصل از لیزر در دستگاه تنفسی بیمار

وقتی در زمان درمان لیزری در دستگاه تنفسی فوقانی، تخلیه هوا با فشار اعمال می‌شود، **کارور** باید متوجه باشد که جریان تهویه هوا ممکن است ذرات دوده و گازها را به داخل دستگاه تنفسی بیمار براند.

۴-۴-۲-۴ سامانه‌های مکش در جراحی

چنانچه مقادیر دوده کم باشد، برای خارج کردن دوده از محل جراحی توصیه می‌شود وسیله مکش جراحی مجهز به یک صافی یکبار مصرف درونی را به‌کار گرفت.

۴-۵ خطرات جانبی

۴-۵-۱ بخارهای زیان‌بار

در حال حاضر گازهای خطرناکی همچون کلر، فلوئور، کلریدهیدروژن و فلوریدهیدروژن در بعضی سامانه‌های لیزر به‌کار می‌روند. باید در انبارکردن آن‌ها احتیاط شود و اطمینان حاصل‌شود که در موقع بروز خرابی، بخارهای

1- ULTRA LOW PENETRATION AIR FILTER

مضر به مقدار کافی زدوده می‌شوند. رنگ‌ها و حلال‌های مربوط به آنها اغلب سمی هستند. توصیه‌های تولیدکننده برای نحوه کار در موقع خالی‌کردن یا پرکردن لیزرهای رنگ‌دار بهتر است به‌طور سخت‌گیرانه رعایت شوند. از تماس پوست با محلول مورد استفاده و تنفس بخار آن باید اجتناب شود. مواد زاید باید به شیوه‌ای مورد تایید، دور ریخته شوند.

۴-۵-۲ آلاینده‌های ناشی از مخازن گازهای مورد استفاده درآندوسکوپی

در سیلندرهای گاز و رگولاتورهای فشار، آلاینده‌های میکروبی و پسماندهای فلزی پیدا شده‌اند. بنابراین سامانه‌های گازرسانی فیبری و نیز سامانه‌های تهویه هوای ونتوری که گاز را از کانتینرها به بیمار منتقل می‌کنند، بهتر است مجهز به صافی‌های داخلی برای زدودن آلاینده‌ها باشند.

۴-۵-۳ تابش‌های جانبی و ولتاژهای بالا

بسیاری از لیزرها برای برانگیختگی از ولتاژ بالا، فرکانس رادیویی یا منابع نوری شدید استفاده می کنند. اگر این منابع پر انرژی پوشش نداشته باشند، می‌توانند هم برای کارکنان و هم سایر تجهیزات، خطرناک باشند. سامانه-های مدرن لیزر تحت شرایط عادی از نظر خطرات تابش جانبی و ولتاژ بالا ایمن هستند. به‌منظور اطمینان از این امر، تمام کارکنانی که لیزر را به‌کار می‌برند یا آن را تعمیر و نگهداری می‌کنند بهتر است از دستورالعمل‌های تولیدکننده پیروی کنند.

۴-۵-۴ آمبولی گاز

به‌کاربردن گازها در جراحی با لیزر درون حفره‌های بسته بدن می‌تواند منجر به خطر آمبولی گاز در بیمار شود. اگر ناگزیر به استفاده از یک گاز هستید، این خطر را می‌توان با استفاده از دی‌اکسدکربن یا یک مایع به کمینه رساند. به‌ویژه توصیه می‌شود که هیچ گازی در حفره‌های کوچک بدن استفاده نشود.

۵ روش های اجرایی مدیریتی

۵-۱ مسئول ایمنی لیزر

در تأسیساتی که لیزرهای طبقه 3B یا ۴ استفاده می‌شود، **سازمان مسئول** بهتراست یک **مسئول ایمنی لیزر** منصوب و مسؤلیت‌های وی را تعریف کند. بهتر است **مسئول ایمنی لیزر** به اندازه کافی آگاه باشد تا بتواند به **سازمان مسئول** در زمینه ایمنی لیزر در زمینه لیزرهای مورد استفاده در آن محل، مشورت بدهد. امکان دارد که یک عضو **سازمان مسئول**، وظیفه **مسئول ایمنی لیزر** را به‌عهده گیرد. **مسئول ایمنی لیزر** باید مستقیماً با **کارور** تجهیزات همکاری کند.

در داخل **محدوده کنترل شده لیزر**، فرد معینی که به شکل مناسبی آموزش دیده، اطمینان حاصل می‌کند که اقدامات ایمنی به‌صورت روزانه رعایت می‌شوند. این وظیفه را ممکن است **کارور** بر عهده گیرد.

یادآوری- تجهیزات پزشکی لیزری اغلب در کلینیک‌های کوچکی استفاده می‌شوند که ممکن است کارکنان آنها شامل فقط یک **کارور** لیزر و یک مسئول پذیرش باشد. این وضعیت در مطب پزشکان، پاپزشکان، دندانپزشکان و غیره دیده می‌شود. الزامات و اصول به‌کارگیری ایمن چنین تجهیزاتی در این اماکن همان‌قدر سخت‌گیرانه است که وقتی همان سامانه‌ها در اماکن سازمانی نظیر بیمارستان‌ها استفاده می‌شوند. این مسؤلیت **کارور** لیزر است که از الزامات به‌کارگیری ایمن آگاه باشد. در واقع این فرد **کارور** حرفه‌ای است که مسئول در نظر گرفتن توصیه‌های ایمنی خلاصه شده در این گزارش می‌شود. **کارور** حرفه‌ای باید مسؤلیت‌های اجرایی **مسئول ایمنی لیزر** را بر عهده گرفته و در ضمن نظارت کند که تمام مقررات ملی رعایت شده و کنترل‌های غیر دولتی برقرارند. این بدین معنی است که **کارور** بهتر است در زمینه‌های ایمنی لیزر آموزش دیده باشد و مسئول مواردی از جمله محدوده کنترل شده لیزر و علائم هشداردهنده آن، استفاده درست از عینک‌های محافظ و سایر تمهیدات ایمنی باشد که به‌منظور حفاظت بیمار و همچنین سایر کارکنانی است که احتمالاً به‌صورت بالقوه در معرض خطرات وابسته به استفاده از لیزر هستند. فرد **کارور** باید از باب تعمیر و نگهداری و سایر کارهای لازم برای به‌کارگیری ایمن تجهیزات لیزری بهداشتی درمانی مورد استفاده آن، پاسخگو باشد.

۵-۱-۱ وظایف و مسئولیت‌های مسئول ایمنی لیزر

۵-۱-۱-۱ وظایف

وظیفه اصلی **مسئول ایمنی لیزر** باید پشتیبانی و آگاه کردن **سازمان مسئول** نسبت به به‌کارگیری ایمن لیزرها و اقدامات حفاظتی باشد.

۵-۱-۱-۲ مسئولیت‌ها

به‌طور مشخص‌تر، وظایف **مسئول ایمنی لیزر** عبارتند از:

الف- انجام یک ارزیابی از خطرناک بودن محدوده‌های کار لیزر شامل تعیین ناحیه اسمی خطر در این رابطه باید از یک طرح ارزیابی خطر پیروی شود (پیوست پ را ببینید).

ب- در زمان خرید و به‌کاراندازی تجهیزات لیزری، به مدیریت و به شخص مسئول حاضر در ناحیه، راجع به موضوعات ایمنی و نیز اقدامات ایمنی عملیاتی و حرفه‌ای، مشورت دهد.

پ- تجهیزات ایمنی فردی را انتخاب کند.

ت- در آموزش کارکنانی که نزدیک به یا با لیزرها کار می‌کنند، در مورد خطرات و اقدامات ایمنی کمک کند.

ث- در بررسی و تایید تجهیزات لیزری بر اساس مقررات ملی کمک نماید و تحقیق کند که تعمیر و نگهداری و سرویس تجهیزات توسط اشخاصی انجام می‌شود که برای آن منظور آموزش دیده‌اند یا به‌گونه‌ای دیگر صلاحیت دارند.

ج- با ممیزی مکرر اطمینان حاصل‌کند که اقدامات کنترلی تجویز شده مؤثرند. برای مثال، رسیدگی‌کند که تجهیزات حفاظتی فردی، موانع تابش لیزر و علائم لیزر در جای خود قرار دارند. روش‌های اجرایی استاندارد، فرآیندهای همتراز کردن و فهرست‌های بازبینی پیش از به‌کاراندازی را بازبینی کند

چ- به ریاست مدیریت و به شخص مسئول حاضر در محوطه، در مورد کاستی‌ها و خرابی‌های تجهیزات لیزری اطلاعات بدهد.

ح- در مورد تمام **رویدادها** و حوادث مربوط به لیزرها تحقیق کند و اطلاعات (زیربند ۵-۳) راجع به اقدامات پیشگیرانه را به آنهایی که مربوط می‌شود، شامل متخصصان ایمنی متعهد سازمان، ارائه دهد.

مسؤلیت‌هایی افزون بر این ممکن است شامل موارد زیر باشند:

خ- تصمیم گرفتن در مورد اقدامات ایمنی فنی و سازمانی.

د- توصیه دادن به کارکنانی که با لیزر یا در محوطه لیزر کار می‌کنند.

ذ- از کار کنارگذاردن تجهیزات لیزری در صورت لزوم.

ر- به راه انداختن تحقیقات پزشکی اگر که گزارشی از یک سانحه لیزری گزارش شده باشد.

ز- با مسؤلین کشوری در ارتباط باشد.

۵-۲ نظارت پزشکی (مراقبت از چشم)

در غیاب مقررات ملی، بهتر است توصیه‌های زیر مورد توجه قرار گیرند:

الف- ارزش مراقبت پزشکی از کارکنان لیزر مطلبی اساسی است که کماکان توسط حرفه پزشکی حل نشده است. اگر آزمایشات چشم پزشکی به‌عهده گرفته شده‌اند باید توسط یک متخصص صاحب صلاحیت اجرا شوند و باید محدود به کارکنانی باشد که با لیزرهای طبقه 3B و طبقه ۴ کار می‌کنند

ب- پس از یک پرتوگیری که ظاهراً یا مشکوک به صدمه به چشم شده باشد، باید فوراً (یعنی طی ۲۴ ساعت) یک آزمایش پزشکی توسط یک متخصص صاحب صلاحیت انجام شود. یک چنین آزمایشی باید با تحقیقات کامل بیوفیزیکی شرایطی تکمیل شود که سانحه تحت آنها رخ داده است.

یادآوری- متخصصینی که آزمایش‌ها چشم پزشکی را انجام می‌دهند باید آگاه باشند که بسیاری از ضایعات شبکیه چشم می‌تواند به غلط به آسیب لیزری نسبت داده شود (به Mainster, MA, Sliney, DH, Marshall, J., Warren, KA, Timberlake, GT, Trokel, SL," But is it really light damage?", *Ophthalmology*, Vol. 104, Nr. 2, February 1997, Guest Editorial مراجعه کنید).

پ- آزمایشات چشم پزشکی قبل از استخدام، در طی استخدام و پس از استخدام کارکنانی که لیزرهای طبقه 3B و طبقه ۴ را به‌کار می‌گیرند فقط به‌دلایل پزشکی- قانونی ارزشمند هستند و یک قسمت ضروری از یک برنامه ایمنی نیستند.

۵-۳ گزارش رویداد و حادثه

۵-۳-۱ گزارش رویداد

توصیه می‌شود هر **رویداد** یا **حادثه** ناشی از به‌کارگیری لیزر فوراً به **مسئول ایمنی لیزر** گزارش شود. تا زمانی که **مسئول ایمنی لیزر** تحقیقات و اقدامات لازم جهت اطمینان از اینکه این **رویداد** یا **حادثه** تکرار نخواهد شد، به‌کارگیری بیشتر لیزر بهتر است متوقف شود.

مسئول ایمنی لیزر باید تحقیقاتی را در مورد هر **حادثه** انجام دهد، توصیه‌هایی را به‌منظور پیشگیری از تکرار آن به‌عمل آورد و گزارشی را به **سازمان مسئول** ارائه دهد. به **سازمان مسئول** قویاً توصیه می‌شود که با مشورت **مسئول ایمنی لیزر**، آن توصیه‌های منتج از تحقیقات را دست‌کم برای اشخاص زیر توزیع کند:

- تمام مسئولان دیگر ایمنی لیزر که توسط **سازمان مسئول** منصوب شده‌اند.
- بخش مهندسی زیست‌پزشکی، در صورت مناسبت بودن.

به **مسئولان ایمنی لیزر** توصیه می‌شود که **کارورها** و کارکنان مربوط را در صورت مناسبت داشتن، مطلع نمایند.

همچنین به **مسئولان ایمنی لیزر** توصیه می‌شود که سوابق تمام این‌گونه حوادث را حفظ کنند.

یادآوری-اینکه برای هر **رویدادی** لازم است کاری انجام شود مفهوم است. کارها شامل توسعه استراتژی‌ها (توصیه‌ها) و پخش اطلاعات مربوط به **رویداد** است، به همراه توصیه‌های پیشگیرانه برای همه اشخاصی که احتمال دارد در معرض همان نوع خطر قرار گیرند. لذا قویاً توصیه می‌شود که اجازه داده نشود آن رویدادهایی که واقع شده‌اند، مخفی نگهداشته شوند. برای اینکه مردم تشویق شوند تا آزادانه وضعیت را گزارش دهند، نباید آنها را مجازات کرد. گزارش دادن **رویداد**، هر چه بیشتر جزیی از فنون جدید مدیریت خواهد شد، به‌عنوان نمونه از نظر تضمین کیفیت و پیشگیری از **حادثه**. ظاهراً گذشته از فعالیت‌های سازمان غذا و داروی ایالات متحده در مورد جمع‌آوری و گزارش **رویدادهای** لیزری، خیلی کم راجع به شدت و آمار حوادث و **رویدادهای** لیزری می‌دانیم. در هر حال، آگاهی از حوادث و **رویدادها** به‌منظور اقدامات متقابلی که به اندازه قابل قبولی هدف‌دار باشند، بهترین مبناست.

هر **رویداد**، چه اینکه آسیبی وارد شود یا نشود، اطلاعات ارزشمندی بدست می‌دهد که می‌توان از آن درس‌ها آموخت. این یک بخش مهم از مدیریت ایمنی است. ارزش انتشار گسترده این اطلاعات، مورد تأکید است.

۵-۳-۲ گزارش حادثه

حوادث مرتبط با لیزرها و نواقص جدی در تجهیزات که می‌تواند منجر به صدمات جدی شود باید به مقام مسئول ملی بهداشت، در صورتی که یک سامانه گزارش‌دهی در سراسر کشور فعال باشد، گزارش شود.

۵-۳-۲-۱ روش اجرایی ملی گزارش‌دهی حادثه

در این گزارش تعریف نشده است.

۵-۳-۳ شیوه گزارش‌دهی

در جایی که **حادثه** یا **رویدادی** در ارتباط با یک لیزر احتمال داده می شود، **مسئول ایمنی لیزر** باید گزارشی را از ماوقع تهیه کند. این گزارش باید حاوی دست‌کم مطالب زیر باشد:

الف- خلاصه‌ای از چگونگی **حادثه** یا **رویداد** که منجر به آسیب شد که باید مشخص کند

۱- تاریخ، محل و ساعت.

۲- اسامی و سمت‌های کارکنان و سایر افراد مرتبط.

۳- جزییات آنچه که برسر فرد آسیب دیده آمده است.

۴- عوامل آشکاری که به وقوع **حادثه** کمک کرده‌اند.

۵- توصیه‌های **مسئول ایمنی لیزر** برای پیشگیری از وقوع دوباره.

۶- ماهیت آشکار یا حدس هر آسیبی که فرد متحمل شده است.

ب- اظهارات کامل مکتوب تمام افرادی که (شامل **مسئول ایمنی لیزر** و در صورت شدنی بودن، **کارور** و/یا کمک‌هایش) در روش اجرایی مورد سؤال دخالت داشتند و می‌توانند هر اطلاعاتی مربوط به وقوع **حادثه** یا سانحه بدهند.

پ- گزارش‌های پزشکی مربوط به هر فرد آسیب دیده.

ت- جزییات کامل نوع محصول لیزری شامل بویژه وضعیت تجهیز بلافاصله پس از **رویداد**.

ث- فهرستی از تجهیزات مورد استفاده در طی روش اجرایی به‌کار رفته همراه با اطلاعات شناسایی مناسب.

۵-۴ تعمیر و نگهداری و بازبینی

۵-۴-۱ آزمون پذیرش

توصیه می‌شود تجهیزات لیزری که برای به‌کارگیری در دامنه کاربرد این گزارش فراهم شده‌اند، قبل از اینکه به‌کار گرفته شوند با استاندارد ملی ایران ۶۰۶۰۱-۲-۲۲ انطباق داده شوند. این موضوع در مورد لیزرهای نمایشی و نیز تجهیزات لیزری خریداری یا اجاره شده کاربرد دارد.

یادآوری- در بعضی کشورها انطباق با ۲۲-۲-۶۰۶۰۱توسط نشانه‌گذاری CE مستند می‌شود و دلالت بر انطباق با مقررات اروپایی وسایل پزشکی دارد.

۵-۴-۲ زمان‌بندی بازرسی

مسئول ایمنی لیزر باید یک برنامه زمان‌بندی بازرسی با مراجعه به پیوست ث برقرار کند. بعضی از بازرسی‌ها ممکن است به‌صورت روزانه به‌منظور وارسی اینکه آیا تجهیزات درست کار می‌کنند یا نه، ضرورت داشته باشند.

۶ توصیه‌های آموزشی

آموزش کارکنان در روش‌های اجرایی پزشکی در این گزارش در نظرگرفته نشده است.

- **آموزش ایمنی لیزر**

سازمان مسئول بهتر است آموزش‌های مناسب برای مدیریت ریسک لیزر را ایجاد و حفظ نماید. توصیه می‌شود هر فردی که در یک **ناحیه کنترل‌شده مرتبط با لیزر** کار می‌کند، آموزش ایمنی لیزر را قبل از اینکه به طور بالقوه در معرض پرتو لیزر قرار گیرد، ببیند و توصیه می‌شود آموزش به‌طور منظم و اگر شرایط تغییر نمود بروزرسانی شود. برای یک لیست پیشنهادی، به پیوست ت مراجعه کنید.
تمام فعالیت‌های آموزشی بهتر است دریک پرونده ثبت و نگهداری شود.

۷- شرایط محیطی لیزر

۷-۱ ناحیه کنترل‌شده مرتبط با لیزر

در زمانی که از لیزر استفاده می‌شود و خطر این هست که سطوح **بیشینه پرتوگیری مجاز** در آن محدوده از حد بگذرند، باید یک ناحیه کنترل‌شده در اطراف لیزر ایجاد شود. دسترسی به تابش لیزر و فعالیت تمام افراد در آن ناحیه، تحت کنترل و نظارت خواهد بود تا از پرتوگیری با تابش لیزر بیش از سطوح **بیشینه پرتوگیری مجاز** جلوگیری شود. مرزهای این چنین نواحی باید توسط **مسئول ایمنی لیزر** به‌عنوان بخشی از ارزیابی خطر مشخص شود لیکن به‌طور معمول دیوارها، کف اطاق و سقف اتاقی خواهد بودکه قرار است لیزر در آن به‌کار گرفته شود.
در شرایط خاص ممکن است یک پرده، روش قابل قبولی برای تعیین مرزهای محدوده‌ای باشد که برای به‌کارگیری لیزری با باریکه‌هایی به‌حد کافی واگرا استفاده می‌شود.

یادآوری- بسیاری از لیزرهای طبی/ آرایشی، باریکه خودشان را با متمرکزکردن یا هدایت‌کردن از میان یک فیبر نوری گسیل می‌کنند که منجر به یک زاویه انتشار شدیداً واگرا می‌شود. در این موارد، **ناحیه اسمی خطر دید** معمولاً بسیارکوتاه‌تر از مورد باریکه‌های موازی است. **ناحیه اسمی خطر دید** باید توسط **مسئول ایمنی لیزر** ارزیابی و/ یا توسط تولیدکننده پیش‌بینی شود.

مصلحت این‌است که تمام اتاقی که لیزر در آن به‌کار گرفته می‌شود به‌عنوان **ناحیه کنترل‌شده مرتبط با لیزر** تعیین شود مگر اینکه اندازه **ناحیه اسمی خطر دید** کاملاً شناخته شده باشد.

۷-۱-۱ کنترل‌های راه ورودی

۷-۱-۱-۱ علائم هشدار

هر ورودی به یک **ناحیه کنترل‌شده مرتبط با لیزر** باید با یک هشدار لیزر و سایر علائم بر اساس الزامات ملی (به یادآوری مراجعه کنید) نشانه‌گذاری شود. صلاح در این است که اطلاعاتی راجع به نوع لیزر مورد استفاده گنجانده شود به‌طوری که شخصی که علائم را می‌خواند، در مورد اینکه چه نوع محافظ چشمی لازم است، تردید نکند.

اگر علائم هشدار فقط در موقعی که تجهیزات لیزر به منبع برق اصلی متصل هستند یا در حال استفاده هستند نمایش داده شوند، بسیار بیشتر نتیجه‌بخش می‌شوند.

برای اینکه قابلیت دیده شدن علائم هشدار به بیشترین حد برسد، باید تمامی آنها در سطح دید قرار داده شوند.

یادآوری- اگر در اینکه چه نوع هشدار لیزری به‌کار رود تردید وجود دارد، توصیه می‌شود که خواننده این استاندارد به مراجع ملی مراجعه کند مثلاً به کمیته ملی استانداردسازی، شاید استفاده از برچسب‌های هشداری که در استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ نشان داده شده است نیز مفید باشد.

۷-۱-۱-۲ نشانگرهای هشدار نوری

در بعضی شرایط ممکن است فراهم کردن یک هشدار نوری علاوه بر علامت هشدار، آن‌طور که در زیربند ۷-۱-۱-۱ شرح داده شده است، مفید باشد.

یک هشدار نوری متداول ممکن است به شکل لامپ زردی باشد که در بیرون هر ورودی محدوده تحت کنترل لیزر قرار داده شده باشد. این لامپ باید فقط در موقعی که لیزر در وضعیت استفاده است روشن شود.

روش دیگر این‌است که می‌توان لامپی را برای روشن کردن علامتی نیمه‌شفاف با کلماتی همچون « احتیاط- لیزر فعال است» بر روی آن به‌کار گرفت، به‌طوری که وقتی لامپ خاموش است کلمات قابل دیدن نباشند.

وقتی نشانگرهای هشدار نوری در سطح دید قرار داشته باشند، تأثیر بیشتری دارند.

۷-۱-۱-۳ سوییچ‌ها و قفل‌های درب

در شرایط خیلی استثنایی ممکن است لازم شود که یک سوییچ درب را توأم با اتصال‌دهنده **قفل همبندی از راه دور** نصب کرد تا اگر درب ورودی به ناحیه کار باز شد، لیزر از کار بیافتد. با این حال، چنین وقفه‌هایی ممکن است تأخیرهای غیرضروری و احتمالاً جدی را در روش‌اجرایی (مثلاً در حین استفاده از لیزر برای کنترل خونریزی) پیش آورد.

یادآوری- اگر قرار باشد برای درب‌ها قفل‌هایی منظورکنند، **مسئول ایمنی لیزر** باید توصیه‌های آتش‌سوزی و ایمنی را فراهم کند. معمولاً بهتر است یک شیوه کاری ایمن اتخاذ شود.

۷-۲ پنجره‌ها

به زیربند ۴-۱-۲-۳ مراجعه شود.

۷-۳ دیوارها

به زیربند ۴-۱-۲-۴ مراجعه شود.

۷-۴ حفاظت در برابر آتش

به زیربند ۴-۳ مراجعه کنید. توصیه می‌شود که یک کاسه روباز آب (آب استریل شده یا آب نمک برحسب لزوم) در محلی دردسترس و نزدیک به تجهیزات در حال کار قرار داده شود تا برای خاموش کردن پرده‌هایی که بدون شعله در حال سوختن هستند یا برای خاموش کردن شعله‌های کوچک استفاده شود. بعضی از منسوجات پرده‌ای را نمی‌توان با آب خاموش‌کرد؛ در یک چنین موارد یا موارد مشابه، پتوهای آتش‌نشانی را می‌توان به‌عنوان یک اقدام ایمنی افزودنی لحاظ کرد.

در جاهایی که احتمال دارد روش‌های اجرایی لیزر موجب بروز آتش شوند، باید فراهم آوردن تجهیزات اطفای حریق برقی در مکانی نزدیک به **ناحیه کنترل‌شده مرتبط با لیزر** و در محلی که به آسانی قابل دسترس باشد، آنطور که مقررات اداره آتش‌نشانی محلی مشخص کرده است، مورد بررسی قرارگیرد. **مسئول ایمنی لیزر** بهتراست برای تعیین گستره مورد نیاز اقدامات کنترلی آتش‌سوزی، با مسئول کنترل آتش‌سوزی مشورت کند.

بهتراست توجه شود که به‌علت احتمال خطر جدی ایجاد برق‌گرفتگی، آب مورد استفاده برای خاموش کردن آتش هرگز نباید با تجهیزات برقی تماس پیدا کند.

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

اثرات زیستی، خطرات، فناوری تجهیزات لیزری

الف-۱ اثرات زیستی و خطرات

سازوکاری که تابش لیزر از آن طریق صدمات را وارد می‌کند برای تمام سامانه‌های بیولوژیک مشابه است و ممکن است برهمکنش‌های دمایی، گذارهای گرما-صوتی و فرآیندهای فوتوشیمیایی در آن دخالت داشته باشند. اینکه هر یک از این سازوکارها تا چه درجه در وارد شدن صدمه مسئول هستند ممکن است به پارامترهای فیزیکی خاص چشمه پرتودهی مربوط شود که مهمترین آنها طول‌موج، **مدت زمان تپ**، اندازه تصویر، **چگالی شار تابشی** و چگالی انرژی هستند.

به بیان کلی، در پرتوگیری‌های فرا–آستانه‌ای، سازوکار غالب به‌طور گسترده‌ای مربوط به **مدت‌زمان تپ** پرتوگیری است. بنابراین، بترتیب افزایش **مدت‌زمان تپ**، اثرات غالب در حیطه‌های زمانی زیر عبارتند از پرتوگیری‌های نانوثانیه و زیرنانوثانیه، پدیده‌های گذار صوتی و تاثیرات غیر خطی از ms ۱ تا چند ثانیه، اثرات گرمایی و در بیش از s ۱۰، اثرات فوتوشیمیایی.

تابش لیزر نسبت به بسیاری از سایر انواع تابش‌ها، از موازی بودن باریکه‌هایش تمیز داده می‌شود. این ویژگی به‌همراه یک ماهیت پرانرژی اولیه، منجر به مقادیر فزاینده‌ای انرژی می‌شود که به بافت‌های بیولوژیک منتقل می‌شوند. اتفاق اولیه در هر نوع از آسیب ناشی از تابش لیزر به یک سامانه بیولوژیک، عبارت است از جذب تابش توسط آن سامانه.

جذب انرژی در سطح اتم یا مولکول صورت می‌گیرد و فرایندی منحصر به طول موج است. بدین ترتیب این طول‌موج است که تعیین می‌کند یک لیزر خاص، مستعد آسیب زدن به کدام بافت است. وقتی یک سامانه، انرژی تابشی کافی جذب کرده باشد، این انرژی معمولاً تبدیل به گرما می‌شود. اکثر آسیب‌های لیزر در اثر گرم شدن بافت یا بافت‌های جذب‌کننده انرژی است. این آسیب گرمایشی معمولاً منحصر به ناحیه محدودی در اطراف محلی است که انرژی لیزر را جذب‌کرده و باریکه با شار تابشی بر آن متمرکز شده است. سلول‌های واقع در این ناحیه خصوصیات سوختگی بروز می‌دهند و آسیب بافت در درجه اول نتیجه تغییر ماهیت پروتئین است. همان‌طور که در بالا گفته شد، وقوع سازوکارهای آسیب ثانوی در اثر برخورد لیزر، می‌تواند مربوط به دوره زمانی عکس‌العمل گرمایشی بافت باشد که مستقیماً در ارتباط با **مدت زمان تپ** لیزر است. اگر یک موج پیوسته یا یک سامانه لیزر دارای تپ طولانی به سمت یک بافت سوق داده شود، به خاطر خاصیت رسانایی بافت، ناحیه‌ای از سامانه که افزایش یک درجه حرارت را تجربه کرده است، به‌طور پیش‌رونده‌ای افزایش خواهد یافت. این جبهه گرمایشی گسترش یابنده باعث بروز یک ناحیه آسیب رو به افزایش خواهد شد زیرا که سلول‌های بیشتر و

بیشتری، بیش از رواداری گرمایشی آنهاگرم خواهند شد. گرما در اثر جابه‌جایی توسط جریان خون نیز منتقل می‌شود. اندازه تصویری باریکه نیز اهمیت زیادی دارد زیرا که درجه‌ای از گسترش به محیط پیرامونی در اثر رسانایی، تابعی از اندازه و نیز درجه حرارت ناحیه اولیه گرمایش بافت است. این نوع از جراحت گرمایشی عموماً در پرتوگیری از موج پیوسته یا از لیزرهای دارای تپ طولانی دیده می‌شود. از طرف دیگر، اثرات آسیب‌زننده می‌توانند نتیجه مستقیم جذب ویژه مولکولی در یک تابش با طول موج معلوم باشد. بهرحال، به‌جای آزاد کردن انرژی، این گونه دستخوش یک عکس‌العمل شیمیایی می‌شود که منحصر به وضعیت تحریک شده است.

لیزرهای پرتوانی که دارای تپ کوتاه و قله بلند هستند(مثل لیزرهای Qسوییچ یا لیزرهای با مُد قفل‌شده) احتمال دارد با ترکیب متفاوتی از سازوکارهای القایی، موجب آسیب به بافت شوند. انرژی در یک زمان خیلی کوتاه به هدف بیولوژیک وارد و در نتیجه یک **چگالی شارتابشی** قوی ایجاد می‌شود. بافت‌های هدف آنچنان افزایش سریعی را دردرجه حرارت آنها تجربه می‌کنند که ترکیبات آبکی سلول‌های آنها تبدیل به گاز می‌شوند. در اکثر موارد این تغییرات حالت آنقدر سریع هستند که به‌صورت انفجاری بوده و سلول می‌ترکد. در اثر گسترش گرما ممکن است فشارهای زودگذری بوجود آیند و احتمال دارد که هر دو نیز موجب آسیب عمودی بافت‌هایی دور از لایه‌های جذب‌کننده انرژی، در اثر جابه‌جایی فیزیکی توده‌ای از بافت‌ها شوند.

بعضی از بافت‌های بیولوژیک نظیر پوست، عدسی چشم و به ویژه شبکیه احتمال دارد تغییرات برگشت‌ناپذیری بروز دهند که در اثر پرتوگیری طولانی مدت از نورهای سطح متوسط ایجاد شده باشد. این تغییرات نتیجه واکنش‌های فوتوشیمیایی است که برخاسته از برانگیخته شدن مولکول‌های دریافت کننده فوتون‌ها است. چنین تغییرات بوجود آمده در اثر واکنش‌های فوتوشیمیایی، اگر مدت زمان **چگالی شار تابشی** بیش از حد باشد یا پرتوگیری‌های کوتاه‌مدت‌تری در طی زمانی طولانی تکرار شده باشند، احتمالاً موجب آسیب به یک سامانه می‌شوند. برخی از واکنش‌های فوتوشیمیایی که توسط پرتوگیری لیزر آغاز شده‌باشند ممکن‌است غیرعادی یا بزرگنمایی از فرآیندهای عادی باشند.

تمام سازوکارهای آسیب‌رسانی مشروحه فوق نشان داده‌اند که در شبکیه چشم کارگرند و در آستانه‌های شکست یا تغییرات شیب در سطوح ایمن پرتوگیری مشروح در استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ منعکس شده‌اند.

جدول الف-۱ –خلاصه اثرات آسیب‌شناسی مربوط به پرتوگیری بیش از حد با نور

گستره طیفی CIE[لف]	چشم	پوست	
فرابنفش C (۱۸۰nm تا ۲۸۰nm)	فوتوکراتیت	اریتما (آفتاب سوختگی) تسریع فرایند پیر شدن پوست افزایش رنگدانه	تسریع فرایند پیرشدن پوست
فرابنفش B (۲۸۰nm تا ۳۱۵nm)			
فرابنفش A (۳۱۵nm تا ۴۰۰nm)	آب‌مروارید فوتوشیمیایی	تیره‌سازی رنگدانه واکنش‌های حساس به نور	سوختگی پوست
مرئی (۴۰۰nm تا ۷۸۰nm)	آسیب گرمایی و فوتوشیمیایی شبکیه		
فروسرخ A (۷۸۰nm تا ۱۴۰۰nm)	آب‌مروارید، سوختگی شبکیه		
فروسرخ B (۱۴۰۰nm تا ۳۰۰۰nm)	آب‌مروارید، سوختگی قرنیه		
فروسرخ C (۳۰۰۰nm تا ۱mm)	فقط سوختگی قرنیه		
الف گستره‌های طیفی تعیین‌شده توسط CIE به‌طور خلاصه در توصیف اثرات زیستی مفید هستند و ممکن نیست کاملاً با نقاط شکست طیفی در جدول‌های MPE مطابق باشند.			

الف -۱-۱ خطرات برای چشم

لیزرهای مرئی و فروسرخ نزدیک، خطرات ویژه‌ای برای چشم هستند زیرا همان ویژگی‌هایی که لازمه چشم هستند تا یک مبدل موثر نور باشد، موجب وارد شدن چگالی انرژی بالا به بافت‌هایی با رنگدانه‌های زیاد می‌شوند. افزایش **چگالی شار تابشی** از قرنیه تا شبکیه تقریباً برابر نسبت سطح مردمک به سطح تصویر روی شبکیه است. علت بوجود آمدن این افزایش در این است که نوری که وارد مردمک شده است بر روی «نقطه‌ای» از شبکیه متمرکز می‌شود. مردمک روزنه‌ای متغیر است ولی قطرش در چشم جوان، بیشینه تا ۷ mm گشاد می‌شود. تصویر روی شبکیه برای یک چنین مردمک، ممکن است قطری بین۱۰μm تا۲۰μm داشته باشد. با درنظر گرفتن پراکندگی داخل چشمی و ابیراهی قرنیه‌ای، افزایش **چگالی شار تابشی** بین قرنیه و شبکیه، در حدود $۱۰^{۵} \times ۲$ است. اگر فرض کنیم که این افزایش $۱۰^{۵} \times ۲$ باشد، یک باریکه$۵۰ Wm^{-2}$ بر روی قرنیه، بر روی شبکیهWm^{-2} $۱۰^{۷} \times ۱$ می‌شود. در این راهنما، یک مردمک ۷mm به‌عنوان یک روزنهٔ محدودکننده در نظر

گرفته شده‌است زیرا این بدترین شرایط است و از ارقامی استخراج شده از چشمی جوان کسب شده است که قطرهای مردمکی آن در این مقیاس اندازه گرفته شده است.

اگر باریکه شدیدی از نور لیزر بر روی شبکیه متمرکز شده باشد، تنها کسر کوچکی از نور (تا ٪۵) توسط رنگدانه‌های میله‌ای و مخروطی چشم جذب می‌شوند. بیشترین نور توسط رنگدانه‌ای بنام ملانین جذب می‌شود که در بافت پوششی رنگدانه است. (در ناحیه لکه زرد، مقداری از انرژی واقع در گستره nm ۴۰۰ تا nm ۵۰۰ توسط رنگدانه لکه جذب می‌شود.) انرژی جذب شده موجب گرمایش موضعی شده و هم‌بافت پوششی رنگدانه و هم میله‌ها و مخروط‌های مجاور حساس به نور را می‌سوزاند. احتمال دارد که این سوختگی یا جراحت موجب کاهش دید شود. بسته به میزان پرتوگیری، احتمال دارد که چنین از دست دادن دید، دائمی باشد یا نباشد. معمولاً فقط زمانی ذهن شخص پرتوگرفته متوجه یک کاهش دید خواهد شد که ناحیه مرکزی یا ناحیه فووای لکه‌زرد درگیر شده باشد. فووا[1] یا به‌عبارت دیگر فرورفتگی مرکز لکه‌زرد مهمترین قسمت شبکیه است زیرا مسئول وضوح تصویر و بخشی از شبکیه است که «برای درست نگاه کردن هر چیز» استفاده می‌شود. اگر این ناحیه صدمه ببیند، کاهش دید ممکن است در ابتدا به‌صورت یک لکه کدر سفید ظاهر شود که ناحیه مرکزی دید را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد لیکن طی دو یا چند هفته احتمال دارد به یک لکه سیاه تغییر یابد. از دست دادن دید مرکزی بسیار جدی است. جراحات جانبی فقط زمانی به‌طور شخصی نشان داده خواهند شد که آسیب شبکیه فاحشی واقع شده باشد. از جراحات جانبی کوچک بدون توجه خواهند گذشت و حتی در طی یک معاینه چشم سامانه‌ای نیز شناسایی نخواهند شد.

در گستره طول‌موج nm ۴۰۰ تا nm ۱۴۰۰، بزرگترین خطر صدمه به شبکیه است. قرنیه، زلالیه، عدسی و زجاجیه در برابر تابش این طول‌موج‌ها شفافند. در مورد یک باریکه کاملاً موازی، خطر عملاً مستقل از فاصله بین چشمه تابش و چشم است زیرا فرض بر این است که تصویر روی شبکیه یک لکه کم انکسار با قطر حدود µm ۱۰ تا µm ۲۰ است. در این مورد، با فرض وجود تعادل حرارتی، ناحیه خطر شبکیه توسط حد زاویه‌ای محدود کننده α_{min} که معمولاً معادل لکه شبکیه با قطر حدوداً µm ۲۵ است، تعیین می‌شود.

در مورد یک چشمه‌گسترده، باز هم خطر عملاً مستقل از فاصله بین چشمه و چشم است زیرا **چگالی شار تابشی** شبکیه فقط بستگی به شار تابشی منبع و ویژگی‌های عدسی چشم دارد.

در مورد چشمه با باریکه واگرا، «از نوع نقطه‌ای»، خطر با کم‌شدن فاصله بین کمرباریکه و چشم افزایش می‌یابد. دلیل آن این‌است که با کاهش فاصله، توان جمع شده افزایش می‌یابد و این درحالی است که می‌توان فرض کرد که اندازه تصویر روی شبکیه برای چشمه‌های لیزر مستقیم، تا فاصله‌ای به‌نزدیکی mm ۱۰۰ همچنان تقریباً کم انکسار باقی بماند(که به‌خاطر قابلیت‌های تطابق خودکار چشم است). بزرگترین خطر درکوتاه ترین فاصله تطابق چشم رخ می‌دهد. با کمترشدن فاصله، خطرآفرینی برای چشم بدون حفاظ نیز کاهش می‌یابد زیرا رشد سریعی

1- fovea

در تصویر روی شبکیه و کاهش متناظری در **چگالی شار تابشی** ایجاد می‌شود اگرچه احتمالاً توان بیشتری جمع می‌شود.

در تأمین هدف این گزارش، کوتاه‌ترین فاصله تطابق چشم انسان در تمام طول‌موج‌های از nm ۴۰۰ تا ۱۴۰۰nm، در mm ۱۰۰ قرار داده شده است. این فاصله به‌صورت توافقی انتخاب شده است زیرا تمام مردم به‌جز تعداد کمی از افراد جوان و تعداد بسیار کمی از افراد نزدیک‌بین، نمی‌توانند چشم‌هایشان را با فاصله‌هایی کمتر از ۱۰۰mm تطابق دهند. این فاصله را می‌توان برای اندازه‌گیری **چگالی شار تابشی** در مورد مشاهده درون باریکه-ای به‌کار برد.

بزرگترین خطر در مورد طول‌موج‌های کمتر از nm ۴۰۰ یا بیشتر از nm ۱۴۰۰، صدمه به عدسی یا به قرنیه است. بسته به طول‌موج، تابش نوری انحصاراً یا با اولویت توسط قرنیه یا عدسی جذب می‌شود(به جدول الف-۱ مراجعه کنید). برای چشمه‌هایی با باریکه واگرا (گسترده یا نقطه‌ای) این طول‌موج‌ها، باید از فواصل کوتاه بین چشمه و چشم اجتناب کرد.

الف-۱-۲ خطرات پوستی

به بیان‌کلی، پوست در پرتوگیری با لیزر، نسبت به چشم خیلی بیشتر می‌تواند تحمل کند. تأثیر بیولوژیک **چگالی شار تابشی** پوست از لیزرهایی که در ناحیه‌های طیف مرئی(nm ۴۰۰ تا nm ۷۰۰) و فروسرخ (بیش از nm ۷۰۰) عمل می‌کنند، می‌تواند از جراحت سوختگی درجه ۱ تا درجه ۳ تغییر کند.

- **بیشینه پرتوگیری مجاز**

مقادیر **بیشینه پرتوگیری مجاز** برای کاربران است و پایین‌تر از سطوح شناخته شده خطر قرار داده شده و بر اساس بهترین اطلاعات در دسترس از مطالعات تجربی است. مقادیر **بیشینه پرتوگیری مجاز** باید به‌عنوان راهنماهایی در کنترل پرتوگیری‌ها استفاده شود و نباید به‌عنوان خطوط دقیقاً تعریف شده و تفکیک‌کننده بین سطوح ایمن و خطرناک تلقی شوند. در هر حال، پرتوگیری با لیزر باید تا حد امکان کم باشد.

- این سطوح به طول‌موج تابش، زمان تپ یا زمان پرتوگیری، بافت در معرض خطر و برای گستره nm ۴۰۰ تا nm ۱۴۰۰، به اندازه تصویر روی شبکیه بستگی دارند. این **بیشینه پرتوگیری مجاز** منتشر شده، با مدت زمان پرتوگیری و طول‌موج تابش لیزر به‌طور چشم‌گیری تغییر می‌کنند و در گستره طول‌موج مرئی و فروسرخ نزدیک که برای آن‌ها عدسی، زلالیه و زجاجیه تا حد قابل قبولی شفاف هستند، کمترین هستند.
- در استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ توصیه‌هایی در مورد سطوح **بیشینه پرتوگیری مجاز** ارائه شده است. این سطوح باید در کنترل پرتوگیری، به‌عنوان راهنما استفاده شوند. وقتی که یک لیزر، تابشی را به‌عنوان سلسله‌ای از تپ‌ها گسیل می‌دارد یا در چندین ناحیه طیفی می‌تابد یا در جایی که تپ‌ها بر روی یک موج-پیوسته زمینه سوار شده‌اند، ممکن است محاسبه خطر پیچیده باشد. جزییات روش محاسبه در استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ درج شده است.

- فاصله‌ای که در آن، **چگالی شار تابشی** یا چگالی انرژی برابر **بیشینه پرتوگیری مجاز** مناسب قرنیه می‌شود، به‌عنوان فاصله اسمی خطردید نامیده شده است. در زمان مشخص کردن مرزهای ناحیه تحت‌کنترل لیزر که در داخل آن، دسترسی به تابش لیزر و فعالیت کارکنان مستلزم کنترل و نظارت به‌منظور حفاظت در برابر خطرات تابش لیزر است، فاصله اسمی خطر دید باید محاسبه شود.

یادآوری-به استاندارد ملی ایران ۱-۳۵۰۱ مراجعه کنید.

الف-۲ فناوری تجهیزات لیزری

الف-۲-۱ چشمه‌های تابش لیزر

اغلب انواع لیزر در طول‌موج‌های خاصی کار می‌کنند که اولاً به ماده فعال لیزر و ثانیاً به طراحی مهندسی کاواک نوری بستگی دارد. بعضی از لیزرها اجازه می‌دهند که خروجی‌هایی با طول‌موج‌های مختلف انتخاب شوند. لیزرها عموماً گستره‌ای را از لیزر CO_2 (۱۰۶۰۰nm) با خروجی درIR-C تا لیزر اگزایمر (کمتر ازnm ۲۰۰) در طیف فرابنفش، به‌کار می‌گیرند. خروجی توان از چند میلی‌وات تا چندین ده وات در لیزرهای موج پیوسته گسترده است. لیزرهای تپی از چند میلی‌ژول تا چندین ژول در هر تپ انرژی دارند و فورا خروجی‌های توان را تا چند مگاوات می‌رسانند. برهم‌کنش لیزر و پوست بستگی به گستره‌ای از پارامترها مانند پارامترهای زیر دارد:

- طول‌موج(های) خروجی (بعضی از لیزرها بیش از یک طول‌موج خروجی دارند)؛
- خروجی پیوسته یا تپی؛
- **مدت زمان تپ؛**
- نرخ تکرار تپ؛
- نوع بافت پوست

ویژگی همدوس بودن تابش لیزر فقط در مورد توموگرافی نوری همدوس (OCT) مثلاً در چشم اهمیت دارد، لیکن در مورد بافت‌های پوست، با نفوذ لیزر به درون بافت‌ها که در آنجا پراکندگی غالب است، همدوسی زود از دست می‌رود.

الف-۲-۲ سامانه‌های انتقال لیزر

الف-۲-۲-۱ کلیات

تمام لیزرها نیاز به وسیله‌ای برای انتقال تابش به محل هدف دارند که این وسیله را سامانه انتقال می‌نامند. طول‌موج لیزر تعیین‌کننده نوع سامانه انتقال است. چهار نوع سامانه انتقال رایج عبارتند از:

الف- انتقال مستقیم؛

ب- بازوی مفصل‌دار؛

پ- موج بر توخالی قابل‌انعطاف؛
ت- فیبر نوری.
یکی از چندین اپلیکاتور را می‌توان به سامانه انتقال متصل کرد. مثل:

- عدسی‌ها؛
- نوک‌های جانبی شعله؛
- فیبرهای شکل داده شده یا پیکرسازی شده؛
- فیبرهای خالی؛
- پخش‌کننده‌ها؛
- میکرومنیپولیتور[1] (دسته ماشینی مینیاتوری)؛
- روبش‌گرها[2].

الف-۲-۲-۲ انتقال مستقیم

اشاره‌گرهای لیزری، لیزرهای تعیین کننده طرز قرارگیری بیماران و لیزرهای دستی مثال‌هایی از سامانه‌های انتقال مستقیم هستند. انرژی لیزر مستقیماً از روزنه گسیل به بافت مورد نظر (با یا بدون کمک عدسی‌های متمرکزکننده) منتقل می‌شود. خروجی دستگاه را ممکن است با روشن و خاموش کردن آن از طریق فشردن یک دکمه یا توسط یک زمان‌سنج کنترل کرد. باریکه را ممکن است با دست یا توسط ابزار مکانیکی هدایت کرد.

الف-۲-۲-۳ بازوی مفصل‌دار

از آنجا که بعضی از طول‌موج‌ها(مثلاً آنهایی که از لیزر گاز کربنیک هستند) توسط شیشه جذب می‌شوند، نمی‌توان آنها را از طریق فیبرهای شیشه‌ای متداول یا عدسی‌ها منتقل‌کرد. یک بازوی مفصل‌دار تولید شده‌است که با به‌کارگیری سامانه‌ی از آیینه‌های بازتاب کننده، به تابش لیزر اجازه می‌دهد تا از میان یک بازوی توخالی بگذرد.
چون تابش از لیزرهای فرابنفش یا فروسرخ مانند لیزر CO_2 نامرئی است، لذا برای برگزیدن بافت هدف از یک لیزر مرئی کم توان که نوعاً لیزر هلیوم نئون یا لیزر دیود است استفاده می‌شود. لیزرهای نامرئی و لیزرهای هدف‌گیری از نظر نوری ترکیب می‌شوند تا در اپلیکاتور یا در دسته درمانی منطبق شوند. آنها از آینه‌های خاصی که در جلوی هر مفصل بازو قرار گرفته‌اند بازتاب می‌شوند و به‌صورت یک باریکه منطبق موازی ظاهر می‌شود.

1 -micromanipulators
2-scanners

بازوی مفصل‌دار را می‌توان به اپلیکاتورهایی همچون دسته درمانی، میکرومنیپولیتور (متصل به میکروسکوپ)، سامانه انتقال فیبری نشکن، موجبر یا آندوسکوپ خمش ناپذیر متصل کرد. اپلیکاتور موردنظر می‌تواند شامل یک عدسی به‌منظور متمرکز کردن باریکه باشد.

- *محدودیت‌های یک بازوی مفصل‌دار*

به دلایل زیر محدویت‌هایی قائل شده‌اند

الف- انتقال انرژی لیزر به «خط دید» یا در طول بخش‌های مستقیم یک مسیر انتقال محدود شده است؛

ب- این بازو در معرض ضربه خوردن است که می‌تواند منجر به به‌هم‌خوردن تنظیم نوری آن شود. باریکه هدف‌گیری و باریکه گاز کربنیک باید مرتباً از نظر انطباق و شکل نقطه، قبل و در طی استفاده، وارسی شود. به‌منظور جلوگیری از صدمه‌خوردن یا از تنظیم خارج‌شدن بازوی مفصل‌دار، باید در موقع حمل ونقل و موقعی که استفاده نمی‌شود، به‌طور مطمئنی بسته‌بندی شود.

پ- روش‌های اجرایی سترون‌سازی تعیین شده توسط تولیدکننده باید به‌طور سخت‌گیرانه‌ای رعایت شود، در غیر این صورت پوشش گران‌قیمت عدسی یا آینه ممکن است آسیب ببیند.

ت- گرد و خاک دست می‌تواند بر خاصیت نوری آینه‌ها یا عدسی‌ها به‌طور نامطلوبی اثر بگذارد.

بازوی مفصل‌دار باریکه موازی را انتقال می‌دهد که بالقوه، به‌ویژه اگر دسته درمانی یا عدسی بر آن نصب نشده باشد، خطرآفرین است. قطر باریکه موازی در طی مسافت‌های چند متری خیلی کم تغییر می‌کند لذا **چگالی شار تابشی** می‌تواند آنقدر زیاد باشد که در فاصله‌ای از روزنه لیزر موجب جراحت، آتش‌سوزی یا آسیب فیزیکی شود.

الف-۲-۲-۴ موجبر توخالی

با به‌کارگیری موج بر توخالی خم نشدنی، ممکن است از بعضی از محدودیت‌های بازوهای مفصل‌دار اجتناب شود. این ابزار متشکل است از یک لوله توخالی با پوششی بازتابی که انرژی لیزر می‌تواند از درون آن انتقال داده شود.

الف-۲-۲-۵ فیبر نوری

انرژی لیزر را می‌توان توسط یک عدسی به داخل یک فیبر شیشه‌ای متمرکز کرد و انتقال داد تا به‌صورت یک باریکه واگرا در نوک فیبر ظاهر شود.

در مورد طول‌موج‌های نامرئی فروسرخ نزدیک، مثلاً یک لیزر Nd:YAG در طول موج۱۰۶۴ nm، یک باریکه مرئی هدف‌گیری معمولاً در خروجی چشمه با باریکه مورد استفاده ترکیب می‌شود تا یک باریکه منطبق به وجود آورند. می‌توان توان یک باریکه مرئی لیزر را تا سطح ایمنی کاهش داد تا به جراح یک باریکه مرئی هدف‌گیری را بدهد. سپس توان باریکه برای جراحی افزایش داده می‌شود در حالی که بستاور ایمنی، پرتوگیری چشمان جراح را محدود می‌کند.

خیلی وقت‌ها سامانه فیبری انتقال‌دهنده را در اتصال با یک آندوسکوپ خمش‌ناپذیر یا قابل‌انعطاف به‌کار می‌گیرند. بسته به نوع فیبری که استفاده می‌شود، این سامانه یا در وضعیت تماس یا در وضعیت غیرتماسی استفاده می‌شود.

سامانه‌های انتقال با فیبر نوری اغلب از طریق غلاف‌های خاصی به‌کار گرفته می‌شوند که برای خنک کردن نوک فیبر و زدودن ضایعات، از درون آنها گاز یا مایع بیرون می‌دهند. این سامانه را فقط در وضعیت غیرتماسی می‌توان به‌کار گرفت. با افزودن یک نوک مجزا، امکان فعالیت سامانه در یک وضعیت تماسی فراهم می‌شود.

- *محدودیت‌های سامانه‌های انتقال فیبری*

علت‌ها و معلول‌های احتمالی تغییر کارآیی لیزر عبارتند از:

الف- امکان جدا شدن کلاهک از فیبر در اثر گرمایش بیش از حد ناشی از آلودگی فیبر غیرتماسی؛

ب- شکستن فیبر به‌علت پیچش‌های نامشخص در فیبر؛

پ- آسیب شدید به آندوسکوپ‌ها در اثر آتش گرفتن لیزر در حالی که فیبر در داخل آندوسکوپ است؛

ت- شکستن فیبر به‌علت استفاده در انواع نامناسب آندوسکوپ‌ها؛

ث- شکستن فیبر به‌علت خمیدگی شدید، افتادن یا خراشیده شدن توسط یک شیء تیز؛

ج- اجزای داغ شده، به‌خصوص اجزای فلزی، در هریک ازدو انتهای سامانه انتقال فیبری، پس از به‌کارگیری لیزر، منجر به مواردی از سوختن بافت‌های بیماران و **کارورها** شده است. آسیب به ابزارآلات نیز رخ داده است. باید برای خنک شدن فرصت کافی داده شود.

چ- قطر باریکه مورد استفاده از یک لیزر نامرئی می‌تواند بزرگتر از قطر باریکه هدف‌گیری باشد؛

ح- نشتی باریکه در جاهایی از فیبر که خمیدگی‌هایی با شعاع کوچک دارد.

الف-۲-۲-۶ دسته درمانی و اپلیکاتورها

الف- اپلیکاتورهای دارای عدسی‌های متمرکزکننده

عدسی‌های متمرکزکننده اغلب در اپلیکاتورها به‌منظور افزایش یا کاهش **چگالی شار تابشی** یا کاستن از قطر باریکه بر روی بافت هدف، استفاده می‌شوند. در جایی که یک لیزر توسط یک عدسی متمرکز شده است، هر چه فاصله کانونی کمتر باشد، اندازه لکه کوچکتر می‌شود. فاصله کانونی یک عدسی اپلیکاتور، تعیین‌کننده قطر لکه و عمق تمرکز است.

محدودیت‌های سامانه‌های عدسی دار

استفاده از سامانه‌های عدسی‌دار به‌علل زیر کم شده است:

- اپلیکاتورهایی که از عدسی‌های با فاصله کانونی کوتاه استفاده می‌کنند، نیاز به جای‌گیری دقیق نسبت به هدف دارند؛

- اپلیکاتورهای دارای عدسی‌هایی با فاصله کانونی طولانی، ممکن است اندازه لکه آنها بزرگتر از آن باشد که برای کسب چگالی توان مورد نیاز باید باشد؛
- بسته به طراحی سامانه اپتیکی، تنظیم نبودن می‌تواند در سامانه‌های با اپلیکاتور عدسی اشکال ایجاد کند، به‌ویژه در بین آنهایی که از عدسی‌های قابل معاوضه استفاده می‌کنند که در آنها اتصالات شل یا مستعمل عدسی‌ها، ممکن است بگذارند که عدسی حرکت کند؛
- باریکه‌های هدفگیری و باریکه‌های اصلی ممکن است در فضا منطبق نشوند و این مشکل ممکن است پس از اینکه باریکه‌ها از میان عدسی می‌گذرند تشدید شود.

ب-پروب پخش‌کننده

این پروب‌ها یک پخش‌کننده را پیوست خود می‌کنند که نور لیزر را بر روی ناحیه نسبتاً بزرگ تحت درمان پخش می‌کند و در درمان فوتودینامیکی و نیز در گرما-درمانی بین‌بافتی القایی لیزر، استفاده می‌شود. شکل پخش‌کننده، توزیع انرژی به بافت هدف را تعیین می‌کند.

الف-۲-۲-۷ دست ماشینی مینیاتوری

دست ماشینی مینیاتوریروی اندوسکوپ‌ها و میکروسکوپ‌ها شامل میکروسکوپ‌های چشمی لامپ شکافی، از یک دسته فرمان استفاده می‌کنند که با کنترل یک آینه، انرژی لیزر را بسمت بافتی که قرار است درمان شود هدایت می‌کند.

الف-۲-۲-۸ روبش‌گرها

روبش‌گرها از وسایلی همچون آینه‌های قابل حرکت برای انکسار باریکه در طی یک ناحیه از قبل تعریف شده و به روشی مناسب کنترل شده، استفاده می‌کنند.

پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

حفاظ‌بندی پنجره

ب-۱ کلیات

بسیاری از کاربردهای پزشکی لیزر در بخش‌هایی، مانند اتاق‌های عمل، صورت می‌گیرد که دارای پنجره هستند. حفاظ‌بندی پنجره‌ها، ناحیه اسمی خطر دید را به مرزهای اتاق (دیوارها، سقف، کف) محدود می‌کند. این‌که آیا حفاظ‌بندی ضرورت دارد یا نه و چه نوع حفاظ‌بندی مناسب است موضوعی است که بسته به موارد زیر است:

- طول‌موج(های) لیزر؛
- **چگالی شار تابشی** و چگالی انرژی نزدیک پنجره؛
- لزوم استفاده از پنجره در زمانی که لیزر کار نمی‌کند؛
- مقاومت مواد حفاظ در برابر آتش یا حرارت؛
- سهولت نصب یا جدا کردن حفاظ؛
- کنترل آلودگی.

ب-۲ طول‌موج لیزر

عموماً فرض بر این‌است که پنجره‌های شیشه‌ای، تابش لیزر را به‌طور مؤثری انتقال می‌دهند. در طول‌موج‌های بیش از nm ۲۵۰۰، پنجره‌های شیشه‌ای تابش لیزر را جذب می‌کنند و می‌توانند به‌عنوان یک مانع قابل قبول به شمار آیند.

ب-۳ مقاومت در برابر آتش/ گرما

چگالی شار تابشی و چگالی انرژی که می‌توانند نزدیک پنجره به‌دست آیند، در تعیین نوع حفاظ‌بندی اهمیت دارد.

برای طول موج‌های بزرگتر از nm ۴۰۰۰، احتمال دارد که شیشه، تحت شرایط استثنایی، به‌خاطر تنش حرارتی تحت **چگالی شار تابشی** زیاد، متلاشی شود. اگر **چگالی شار تابشی** و چگالی انرژی به اندازه کافی زیاد باشد، قابلیت آتش‌گیری مواد حفاظ حائز اهمیت است. برای بیشتر تجهیزات پزشکی، این‌گونه مشکلات فقط موقعی بروز می‌کنند که باریکه، تقریباً موازی (با واگرایی پایین) است. معمولاً، انتقال باریکه لیزر متمرکز شده یا واگرا، لزوماً از آن نظر نگران‌کننده محسوب نمی‌شود.

ب-۴ نصب کردن/ جدا کردن

حفاظ‌های قابل جداشدن را می‌توان به آسانی و بسرعت نصب و جدا کرد و می‌توانند فقط قابل دسترس افرادی باشند که در **ناحیه کنترل‌شده مرتبط با لیزر** هستند.

مثال‌هایی از حفاظ‌ها و نصب شدنی‌ها عبارتند از:

- ورق‌های پلاستیکی کدر آویزان از قلاب‌ها؛
- پارچه‌های کدر که توسط نوارهای به هم چسبیده تثبیت می‌شوند؛
- کرکره‌ها؛
- نورگیرها،
- پرده‌ها.

بعضی از حفاظ‌ها جاهایی دارند که از هم باز می‌شوند. این بازشدن‌ها به احتمال زیاد در لبه‌ها رخ می‌دهند، برای مثال پرده‌ای که در اثر جریان هوا یا به‌خاطر کشیده شدن تنه کارکنان به آن جابه‌جا می‌شود.

پیوست پ

(آگاهی‌دهنده)

فهرست بازبینی برای نصب و راه‌اندازی لیزر

پ-۱ کلیات

این پیوست در مورد مراحلی که باید در طی نصب و راه‌اندازی لیزر اتخاذ شود راهنمایی می‌کند. فرض بر این است که به‌منظور نظارت بر این فرآیند، یک **مسئول ایمنی لیزر** منصوب شده است. گام‌های زیر ممکن است در ارزیابی ریسک(های) هر نصب و راه‌اندازی لیزر مفید واقع شوند.

پ-۲ شناسایی کنید

- استخدام‌کننده کارکنان مجاز؛
- **مسئول ایمنی لیزر**؛
- سازمان ایمنی (که می‌تواند کمیته ایمنی و / یا شخص مسئول باشد)؛
- روش اجرایی گزارش دادن **رویداد** و **حادثه** (برای مورد توجه قرار دادن الزامات داخلی، ملی و قانونی).

پ-۳ اطلاعات مرتبط را تعیین کنید

پ-۳-۱ جزئیات لیزر

- نوع (ساخت، مدل، تولیدکننده، عرضه‌کننده، غیره)؛
- طول‌موج(ها)؛
- ویژگی‌های توانی/ انرژی/ زمانی؛
- طبقه‌بندی (فقط سطح حفاظتی لازم برای باریکه لیزر را مشخص می‌کند)؛
- تاییدیه نوعی (محلی یا ملی)؛
- سامانه(های) انتقال باریکه (تمام گزینه‌ها)؛
- ذخایر گاز (سیلندرها، گاز لوله‌کشی، مخزن سر بسته)؛
- رنگ‌ها (ارزیابی ریسک ضروری است: حلال‌ها، افزودنی‌ها، مخلوط‌ها و غیره)؛
- خروجی(های) گاز لیزر.

پ-۳-۲ سایر مخاطرات

- تجهیزات عملیاتی؛
- استخراج دود؛
- پرده‌ها.

پ-۳-۳ کاربرد

روش‌های اجرایی که باید اتخاذ شوند.

پ-۳-۴ چرخه عمر

قسمت‌هایی از چرخه عمر برای تأسیسات لیزر که باید مورد توجه قرار گیرند. برای مثال:

- تحویل؛
- نصب؛
- حق‌العمل کاری؛
- آموزش حین به‌کارگیری؛
- استفاده عادی (برای هر کاربرد)؛
- تعمیر و نگهداری؛
- خدمات رسانی؛
- اصلاح کردن؛
- فسخ حق‌العمل کاری؛
- دور انداختن.

یادآوری-احتمال دارد برخی از مخاطراتی که در زیربندهای پ-۳-۱ و پ-۳-۲ تصریح نشده‌اند در طی بعضی از قسمت‌های چرخه عمر بروز کنند و هر قسمت از چرخه عمر ممکن است افراد مختلفی را به‌خطر اندازد.

پ-۴ ارزیابی ریسک

پ-۴-۱ کلیات

امکان دارد که تأسیسات لیزر را به یک سری از ماژول‌ها تقسیم کرد و خطرات (و لذا ریسک‌ها) مرتبط با هر ماژول را شناسایی کرد. ماژول‌ها احتمالاً متشکل هستند از:

- فرایند لیزر، مثلاً اینکه باریکه برای چه کاری استفاده می‌شود؟
- **سامانه انتقال باریکه**– چگونه به مقصد می‌رسد؟
- مجموعه دستگاه – از کجا می‌آید؟

- اتاق و سایر تجهیزات؛
- افراد.

خطرات را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: باریکه لیزر و بقیه ریسک‌هایی از خطرات در طول قسمت‌های مختلف چرخه عمر وجود دارد.

پ-۴-۲ باریکه لیزر

پ-۴-۲-۱ فاصله (ناحیه) اسمی خطر دید برای هر کاربرد

پ-۴-۲-۲ مشخصات عینک محافظ مناسب

پ-۴-۲-۳ مشخصات البسه حفاظتی مناسب برای هر کاربرد با توجه ویژه به پرتوگیری بالقوه پوست با تابش فرابنفش

پ-۴-۳ سایر مخاطرات

پ-۴-۳-۱ اقدامات کنترلی برای قسمت مربوط به چرخه عمر نصب و راه‌اندازی لیزر

پ-۵ مشخص کنید

پ-۵-۱ ناحیه کنترل‌شده مرتبط با لیزر

پ-۵-۱-۱ مرزها

- دیوارها (بازتاب‌ها)؛
- پنجره‌ها (محل، عبور، نورگیرها و غیره)؛
- درها (وضعیت آنها، پنل‌های مشاهده و غیره)؛
- سقف‌ها.

پ-۵-۱-۲ تاسیسات

- علائم هشدار (محل‌ها)؛
- **قفل(های) همبندی از راه دور** (استفاده می‌شود یا نه)؛
- خدمات شهری (آب، هوا، گاز، برق)؛
- اقدامات احتیاطی آتش‌سوزی (آتش‌خاموش‌کن‌ها، پتوها و غیره).

پ-۶ اختیارات و آموزش کارکنان

چون در ارتباط با آموزش ایمنی می‌شود، الزاماتی را که باید توسط **کارورها** برآورده شوند مورد توجه قرار دهید:

- **کارورهای** کلینیکی (شامل کارکنان پیراپزشکی)؛
- کاربران فنی (تولیدکنندگان، مهندسین، زیست مهندسین و غیره)؛
- سایر کاربران.

نگهداری سوابق آموزشی (ممکن است آموزش رسمی و آموزش در حین کار باشد)

پ-۷ روش‌های اجرایی عملیاتی

پ-۷-۱ روش اجرایی عملیاتی

خلاصه الزامات ایمنی نصب و راه‌اندازی و دستورالعمل‌های عملیاتی برای لیزر

پ-۷-۲ آزمون پیش از به‌کارگیری

آزمون پیش از به‌کارگیری مطابق با نوع لیزر به ویژه آزمون توان، بستاور، ساز و کارهای کنترل و روبش خودکار، اگر لازم باشد.

پ-۷-۳ روش اجرایی در موقع حادثه

روش اجرایی در موقع **حادثه** که برای **کارورها** مستند شده است تا در مواقع لازم اجرا شود.

پ-۸ ممیزی سالیانه

پ-۸-۱ تأسیسات

انجام مقدمات برای ممیزی سالانه تاسیسات و آموزش سایر افراد جهت ممیزی سالانه آن سوابق ممیزی‌های سالانه را نگهدارید.

پ-۸-۲ ارزیابی ریسک

یافته‌های چشمگیر ارزیابی ریسک را به‌منظور برآوردن الزامات داخلی، ملی یا دولتی مستند کنید. ارزیابی ریسک ممکن است شامل بازبینی همیشگی نیز باشد، به‌ویژه در مواقعی که قرار نیست کاربردهای تازه‌ای اجرا شوند.

پیوست ت

(آگاهی‌دهنده)

آموزش ایمنی لیزر

برنامه درسی زیر می‌تواند قسمتی از یک آموزش ایمنی لیزر باشد. می‌توان این برنامه را از نظر مدت و محتوا تغییر داد تا مناسب تجهیزات لیزری شود که قرار است به‌کار گرفته شوند و نقش افرادی که قرار است دخالت داشته باشند.

این برنامه درسی برای آموزش **مسئول ایمنی لیزر**، به اندازه کافی تفصیل داده نشده است.

- خصوصیت‌های ویژه تابش لیزر گسیل‌شده از انواع مختلف لیزر
- تولید تابش لیزر و خطرات
- اصول تضمین کیفیت
- مدیریت تجهیزات
- برهمکنش‌های لیزر– بافت بدن
- اثرات پرتوگیری چشم و پوست با تابش لیزر
- مدیریت ایمنی لیزر، نقش **مسئول ایمنی لیزر** و تحقیقات موارد مظنون به پرتوگیری تصادفی
- ناحیه های تحت‌کنترل لیزر- مرزها- علائم هشدار–کنترل دسترسی
- تجهیزات حفاظتی شخصی
- خطرات ناشی از بازتاب یا جذب باریکه لیزر در مورد وسایل و سایر مواد، و خطرات مرتبط با مخلوط‌های بیهوش‌کننده
- اقدامات احتیاطی جهت تضمین اینکه پرتوگیری پوست و چشمان حفاظت نشده افراد حاضر، کمتر از سطوح بیشینه مجاز است
- خطرات مرتبط با روش‌های اجرایی لیزر درمانی که متوجه بیماران است و روش‌های به کمینه رساندن ریسک‌ها
- خطرات تصادفی نظیر خطرات برق، خطرات آتش و انفجار، مایعات سردکننده، آلودگی هوا، دود و ضایعات بافت
- استانداردها و راهنماهای IEC مرتبط (به‌علاوه مقررات ملی که مناسبت دارند).
- اصول ارزیابی و مدیریت ریسک

- نمادهای مرتبط به‌کارگرفته شده بر روی تجهیزات، آن‌گونه که تولیدکننده تجهیزات لیزر در مدارک همراه تجهیزات شرح داده است.

این مطالب را معمولاً ممکن است در سخنرانی‌هایی که جمعاً حدود ۴ ساعت زمان می‌برد ارائه کرد. این کار عمق دانشی را که مورد نیاز است نشان خواهد داد.

پیوست ث
(آگاهی‌دهنده)

برنامه زمان‌بندی بازرسی

ث-۱ کلیات

در طی آزمون و تعمیر و نگهداری یک لیزر و ضمائم آن، چند چیز مهم هست که باید پیش از به‌کارگیری لیزر وارسی شوند. طراحی و قابل اعمال بودن جداگانه آزمون‌ها بستگی به نوع لیزر خواهد داشت. فهرست‌های بازبینی که تولیدکننده ارائه کرده است می‌توانند آموزنده باشند و بر اقلام مهمی که باید وارسی شوند تأکید نمایند.

توصیه‌های این پیوست، جامع یا قابل کاربرد جهانی نیستند. این توصیه‌ها بازرسی عمومی و روش‌های اجرایی آزمون را خلاصه می‌کنند.

ث-۲ آزمون‌های تضمین کیفیت

ث-۲-۱ کلیات

قسمت‌های تجهیزات زیر ممکن است به‌طور مرتب و به تعداد دفعات مندرج در جدول ث-۱ آزمون شوند.

ث-۲-۲ کابل‌ها

کابل‌های برق و پدال‌های پایی را به‌خصوص در جایی که وصل به یک پریز یا دوشاخه‌اند می‌توان قبل از اینکه لیزر به برق متصل شود از نظر معیوب بودن بازبینی کرد. هم‌چنین مناسب است که در پایان روش اجرایی، دوباره بازبینی برای عیوب انجام شود چون کابل‌ها ممکن است در ضمن استفاده زیر پا بروند یا آسیب ببینند.

ث-۲-۳ کلیدهای اضطراری

به‌منظور اطمینان از این‌که کلیدهای اضطراری روی لیزر درست کار می‌کنند، می‌توان آنها را در نوبت‌های منظم بازبینی کرد.

ث-۲-۴ قفل‌های همبند

هر قفل همبند را (مثلاً قفل روی در، جریان آب، فیبر موجود) می‌توان در نوبت‌های منظم بازبینی کرد تا اطمینان حاصل شود که درست کار می‌کنند.

ث-۲-۵ نشانگرها

نشانگرهای دیداری و شنیداری گسیل لیزر را می‌توان در ابتدای هر روش اجرایی، از نظر درست کارکردن بازبینی کرد.

ث-۲-۶ توان باریکه

برای قطع برق یا انرژی در انتهای یک سامانه انتقال، دو علت عمده وجود دارند: عدم تنظیم اپتیکی در هر مرحله، یا آلودگی هر یک از آینه‌ها، عدسی‌ها یا فیبرهایی که ممکن است سامانه انتقال را تشکیل دهند. در نتیجه، توان باریکه انتهایی یا توان انتهایی به عنوان درصدی از خروجی کاواک (که در بسیاری از لیزرها اندازه‌گرفته می‌شود) را متناوباً می‌توان به‌طور منظم مشخص‌کرد. بسیاری از تولیدکنندگان برای انجام این امر، سامانه‌های توکار یا بیرونی دارند. حتی مقادیر کم آلودگی بر روی هر یک از قطعات اپتیکی، موجب نه تنها از دست دادن توان/ انرژی خواهد شد بلکه باعث جذب انرژی با استعداد صدمه حرارتی به آن قطعه خواهد گردید. آلودگی بر روی آشکارسازهای داخلی توان‌سنج، ممکن است منجر به نمایش نادرست توان خروجی شود. این موضوع در مورد لیزرهای تپی و لیزرهای موج پیوسته هر دو صادق است. انرژی تپ انتهایی را نیز می‌توان بازبینی کرد (به زیربند ث-۲-۱۱ نیز مراجعه کنید).

ث-۲-۷ بازوی مفصل‌دار

هر لیزر به‌کار گیرنده‌ی بازوی مفصل‌دار یا دست ماشینی مینیاتوری را می‌توان پیش از استفاده، برای هر حرکت در تمام گستره کامل آن بازبینی کرد. بازوی مفصل‌دار را می‌توان از نظر عیب فیزیکی و قرار داشتن صحیح عدسی، بازبینی کرد.

ث-۲-۸ انطباق باریکه

در مورد لیزرهایی که بازوی مفصل‌دار به‌کار می‌برند، می توان انطباق باریکه هدف‌گیری را با باریکه کاری، قبل از هر استفاده از لیزر و امکان دارد در طی استفاده، به‌ویژه اگر گمان می‌رود که احتمالاً تنظیم بهم‌خورده است، آزمون‌کرد. این کار را می‌توان به آسانی با علامت‌گذاری یک زبانک چوبی به‌عنوان هدف انجام داد. باریکه هدف‌گیری برای تنظیم باریکه کاری بر روی هدف علامت‌گذاری شده به‌کار می‌رود. شلیک باریکه کاری، باید علامت را از بین ببرد. انطباق باریکه هدف‌گیری با باریکه کاری را می‌توان کالیبره کرد تا در محدوده رواداری تعیین شده توسط تولیدکننده قرار گیرد. پس از شلیک، سوختگی را می‌توان از نظر تقارن و عمق یکنواخت، بازبینی کرد.

عدسی‌ها و آیینه‌ها را نباید لمس کرد زیرا چربی پوست ممکن است موجب آسیب شود. تولیدکننده، روش‌های مناسب استرلیزه و تمیز کردن را توصیه می‌کند.

ث-۲-۹ فیبرهای نوری

فیبرهای نوری استفاده شده با لیزر ممکن است برای آلودگی در هر دو انتها و برای آسیب در کل طول فیبر قبل از اتصال بررسی شوند. یک ذره بین بزرگنمایی ۱۰ برابر تا ۱۴ برابر و نوردهی مناسب برای این بررسی مفید خواهد بود.

هشدار- ممکن است انجام بازرسی با فیبر متصل به لیزر و لیزر روشن خطرناک باشد.

هر دو انتهای فیبر باید تمیز و عاری از تراشه باشند، بدین معنی که لبه و جلوی فیبر صدمه ندیده باشند (به زیربند ث-۲-۱۰ مراجعه کنید). فیبرهای هم‌محور (یعنی آنهایی که در آن مایع یا گاز در فیبر منتقل می‌شود) را می‌توان به‌منظور اطمینان از اینکه سوراخ‌های خروجی باز هستند و ماده سرد کننده به‌راحتی جریان دارد، بازبینی کرد. هیچ پسماند یا مایعی نباید در فیبر هم‌محور گیر کرده باشد. ضمائم خاص همچون نوک‌های یاقوت و سایر ابزار پخش‌کننده را هم می‌توان از نظر تمیزی بازبینی کرد.

ث-۲-۱۰ باریکه هدفگیری

کیفیت باریکه هدف‌گیری در انتهای سامانه انتقال را می‌توان پیش از استفاده و گاه‌به‌گاه در طی به‌کارگیری آزمود. سپس باید باریکه را به سمت یک سطح تمیز سفید، در فاصله حدوداً ۵cm تا ۱۰cm هدایت کرد. تصویر باید یکنواخت و دایره‌ای باشد و اگرچه وجود مقدار کمی رگه پذیرفتنی است لیکن هیچ لکه، رنگ محو، نور پراکنده یا سایه‌های تیره نباید در تصویر باشد. بودن این چنین چیزها نشان دهنده عیب یا آلودگی در سامانه انتقال است. چنانچه باریکه هدف‌گیری به‌وضوح مشخص است و دارای روشنایی عادی است، پس احتمالاً نوک فیبر در شرایط خوبی است.

ث-۲-۱۱ کالیبره کردن توان ارسالی (به زیربند ث-۲-۶ نیز مراجعه کنید)

دو دلیل عمده برای تغییر در خروجی توان یک لیزر وجود دارد. اول اینکه لیزر می‌تواند خروجی خود را توسط تعدادی از فرآیندها همچون ناهمترازی آینه‌ها تغییر دهد. دوم، سامانه انتقال می‌تواند موجب اتلاف بیش از حد توان در اثر ناهمترازی، آلودگی یا معیوب بودن شود. درنتیجه، تمام لیزرها باید به‌طور منظم کالیبره شوند و بسیاری از آنها در درون آنها وسایلی دارند که برای اندازه‌گیری توان در انتهای سامانه انتقال است.

چنین بازبینی‌ها را می‌توان به‌طور مرتب و معمولاً قبل از هر استفاده انجام داد و اگر گمان می‌رود که توان خروجی افزایش یا کاهش پیدا کرده است، امکان دارد در طی یک روش اجرایی انجام شود.

بسته به نوع لیزر و تولیدکننده، احتمال دارد روش کالیبراسیون متفاوت باشد. برای مثال، می‌توان توان خروجی واقعی یا خروجی سامانه انتقال، یکی از این دو را اندازه گرفت. اغلب لیزرها تمهیداتی درونی برای اندازه‌گیری توان در کاواک لیزر دارند. مهم است که اتلاف توان از طریق سامانه انتقال را در نظر داشته باشیم.
توان تابشی خارج شده از لیزرها در استفاده کلینیکی، ممکن است با توان نشان داده شده بر روی توان‌سنج لیزر مطابقت نداشته باشد؛ بنابراین، به‌منظور اطمینان از دقت کنتورهای نصب شده در سامانه لیزر، باید خروجی را به‌صورت دوره‌ای توسط یک توان‌سنج کالیبره اندازه گرفت.
تنظیم لیزر و کالیبره کردن آن، می‌تواند به‌عهده عرضه‌کننده یا متخصص فنی آموزش دیده باشد.

ث-۲-۱۲ لوازم جانبی تخصصی

هر یک از لوازم جانبی که برای کاربرد لیزر طراحی شده است (نظیر ابزارهای لیزر، تخلیه‌گرهای دود و غیره) را می‌توان از نظر عیب و /یا کارکرد درست، وارسی و/یا آزمون کرد. این کار باید بر طبق دستورالعمل‌های تولیدکننده یا الزامات تعیین‌شده توسط **مسئول ایمنی لیزر** انجام شود.

ث-۲-۱۳ عینک محافظ

عینک محافظ همانند صافی‌های خاصی که در آندوسکوپ‌ها و سایر وسایل استفاده می‌شوند را می‌توان به‌طور منظم بازبینی و تمیز کرد. خراشیدگی، ترک و آسیب به قاب و غیره از کارآیی حفاظتی عینک می‌کاهد. برچسب‌های الزامی نیز باید خوانا باشند.

جدول ث-۱ - برنامه زمان‌بندی بازرسی

شماره بند	قسمتی از تجهیزات	تعداد دفعات پیشنهادی برای آزمون
ث-۲-۲	کابل‌های برق و کلیدهای پایی	قبل از هر استفاده یا روزانه، هر کدام که تکرارش کمتر است
ث-۲-۳	کلیدهای اضطراری	ماهانه
ث-۲-۴	قفل‌های همبند قابل دسترس **کارور**	ماهانه
ث-۲-۵	نشانگرهای گسیل لیزر	قبل از هر استفاده یا روزانه، هر کدام که تکرارش کمتر است
ث-۲-۶	توان باریکه/ انرژی تپ	قبل از هر استفاده یا روزانه، هر کدام که تکرارش کمتر است
ث-۲-۷	حرکت بازوی مفصل‌دار و بازبینی‌های فیزیکی	در شروع هر روش اجرایی
ث-۲-۸	همگرایی باریکه هدف‌گیری و باریکه اصلی	در شروع هر روش اجرایی
ث-۲-۹	فیبرهای نوری (بازبینی فیزیکی)	هر تغییر فیبر
ث-۲-۱۰	کیفیت باریکه هدف‌گیری	قبل از هر روش اجرایی یا تغییر لوازم جانبی سامانه انتقال فیبری
ث-۲-۱۱	(کالیبره کردن) فیبر نوری	قبل از هر استفاده یا روزانه، هر کدام که تکرارش کمتر است
ث-۲-۱۲	لوازم جانبی تخصصی	به‌طوری که مناسب است(به متن مراجعه کنید)
ث-۲-۱۳	عینک محافظ	ماهانه

ث-۳ تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

پ-۳-۱ کلیات

توصیه شده است که تمام تجهیزات لیزر پزشکی، به نحو مناسبی توسط فردی که از نظر فنی کاردان است نگهداری شود.

تعمیر و نگهداری متشکل از گستره‌ای از اقدامات است از جمله:

الف- تعمیر و نگهداری پیشگیرانه لیزر و لوازم جانبی آن؛

ب- کالیبره کردن توان خروجی، انرژی خروجی و خصوصیات زمانی؛

پ- وظایف در رابطه با کاربرد کلینیکی.

به‌منظور اینکه **کارور** این اقدامات، ایمنی کارکنان را به خطر نیندازند، توصیه‌شده‌است که در داخل یک ناحیه تحت کنترل لیزر انجام شوند که یا از قبل برای این منظور تخصیص داده شده و یا یک امکانات موقتی است.

یادآوری- راهروها و سایر اتاق‌های ویژه کار به‌خصوص که محدودکردن دسترسی به آنها مشکل است، به‌عنوان مکان‌هایی برای نگهداری تجهیزات لیزر توصیه نمی‌شوند. باید توجه‌کرد که علاوه بر موضوعات ایمنی مربوط به تابش نور، مسایلی در رابطه با تابش جانبی و منابع برق وجود دارد.

ث-۳-۲ تمیز و ضد عفونی کردن

توصیه می‌شود قبل از تعمیر، تجهیزات تمیز و/ یا ضدعفونی شوند تا از هر آلودگی که ممکن است به شخصی که کار را انجام می‌دهد آسیب رساند، پاک باشند.

معمولاً ضدعفونی‌کننده‌های مناسبی که به تجهیزات لیزر آسیب نرسانند، توسط عرضه‌کننده پیشنهاد می‌شوند. به‌منظور ارزیابی اثر بخشی ماده ضدعفونی‌کننده بر روی عامل(های) بیماری‌زای خاص، خط‌مشی داخلی سازمان برای گندزدایی را می‌توان مورد توجه قرار داد.

ث-۳-۳ فهرست بازبینی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

معمولاً این فهرست بازبینی توسط تولیدکننده تعیین می‌شود و بر عهده عرضه‌کننده یا بر عهده کارکنانی که به گونه مقتضی صاحب صلاحیت هستند قرار می‌گیرد.

یادآوری- این کارکنان معمولاً توسط عرضه کننده آموزش داده می‌شوند.

الف- قطعات اپتیکی را بازرسی و تمیز کنید.

ب- چیزهای قابل مصرف همچون رنگ‌ها، سرمازاها، صافی‌ها و غیره را بازبینی نموده و تعویض یا مجدداً پر کنید.

پ- درست بودن خروجی و تنظیم بودن کاواک نوری را در صورت لزوم وارسی کنید.

ت- کارکرد صحیح بستاور، قفل‌های همبند ایمن دربرابر خرابی، کلیدهای اضطراری و پدال‌های‌پایی را وارسی کنید.

ث- وارسی کنید که تمام وضعیت‌های نمایش داده شده توان، انرژی و مقادیر تپ در محدوده مشخصات تولیدکننده است.

ج- کنترل کنید که تمام سامانه‌های انتقال باریکه نوری به‌طور صحیحی کار می‌کنند.

چ- همترازی بین باریکه هدفگیری و باریکه درمانی را بازبینی کنید.

ح- وارسی کنید که تجهیزات از نظر الکتریکی ایمن باشند.

ث-۳-۴ بازبینی‌های کارور

به **کارورها** توصیه می‌کنیم که قبل از هر جلسه لیزر پزشکی، تعدادی بازبینی ساده ولی مفید را انجام دهند. این بازبینی‌ها ممکن است شامل موارد زیر باشند.

الف- بازبینی وضعیت کابل‌های پدال‌های‌پایی و کابل‌های برق از نظر علائم واضح فرسودگی؛

ب- بازرسی دسته درمانی لیزر برای علائم عیب و/ یا آلودگی مخصوصاً روی عدسی خروجی به دنبال آلودگی بگردید؛

پ- فیبرهای نوری را از نظر آسیب به روکش (اگر لازم باشد)، ترک خوردگی یا آلودگی انتهای فیبر بازبینی کنید. برای این منظور یک ذره‌بین با بزرگنمایی ۱۰ برابر مناسب است؛

هشدار- در مدتی که لیزر در وضعیت آماده به‌کار است، انتهای فیبر را بازرسی نکنید. مطمئن شوید که لیزر در حالت انتظار است یا اینکه فیبر از روزنه لیزر جدا شده باشد.

ت- بازبینی همتراز بودن باریکه هدف‌گیری با باریکه کاری؛

ث- بازبینی خروجی تابش لیزر در انتهای سامانه انتقال، اگر یک توان/ انرژی‌سنج درونی در دسترس باشد؛

ج- بازبینی عملکرد کلید اضطراری خاموش‌کردن؛

چ- بازبینی عینک محافظ از نظر در دسترس بودن و بی‌عیبی.

پیوست ج

(آگاهی‌دهنده)

موضوعات ایمنی در کاربردهای لیزر

یادآوری- هدف از این پیوست ارائه اطلاعاتی در مورد مطالب ایمنی لیزر در زمینه های کاربرد معمول است. این پیوست توجهی به جزییات روش‌های اجرایی پزشکی یا مسایل مربوط به الزامات تولیدکننده که در استاندارد ملی ایران ۲۲-۲-۶۰۶۰۱ مطرح شده‌اند، ندارد.

ج-۱ کلیات

به‌منظور بهبود روال‌های ایمنی خوب در هر یک از زمینه‌های کاربردی زیر، توصیه می‌شود که **کارور** لیزر فقط زمانی لیزر را فعال‌کند که **سامانه انتقال باریکه** تحت کنترل مستقیم **کارور** است؛ و اگر نیست، لیزر باید خاموش شود یا اینکه در حالت انتظار قرار گیرد.

ج-۲ استفاده از فیبرهای نوری

ج-۲-۱ خلاصه خطر

- ایجاد آتش
- شکستگی
- آلودگی
- فرسودگی[1]

ج-۲-۲ اقدامات پیشگیرانه

ج-۲-۲-۱ ممکن است نوک فیبر در اثر توان لیزر که توسط آلاینده‌های بافت، جذب شده است داغ شده و ملتهب شود و آتش گرفتن مواد قابل اشتعال رخ دهد، به ویژه اگر در یک محیط غنی از اکسیژن باشد (برای مثال در داخل شبکه نایژه‌ها باشد). پیش از شلیک کردن باریکه لیزر، مطمئن شوید که نوک فیبر تمیز است.

1- Deterioration

ج-۲-۲-۲ اگرچه فیبرهای نوری مشهور به محکم بودنند، لیکن ممکن است بشکنند. اگر فیبر از مجرای واسط آندوسکوپ بیرون کشیده یا به داخل مجرا هُل داده شود، یک خطر قابل توجه به‌وقوع خواهد پیوست، به‌خصوص در حالتی که دریچه در نزدیکی چشم به‌کارگیرنده آندوسکوپ قرار داشته باشد. به‌علاوه، خم کردن شدید فیبر، هم زاویه واگرایی باریکه لیزر و هم خطر شکستن فیبر را افزایش خواهد داد. امکان دارد که زاویه بحرانی بازتاب کامل از حد بگذرد و نتیجتاً نقش قابل توجهی در **حادثه** فرار توان لیزر از محل خم‌شدگی فیبر شود. این امر می‌تواند باعث عیب حرارتی و/ یا جراحت چشم شود. یک فیبر نوری نباید در شعاعی کمتر از آنچه که تولیدکننده فیبر قید کرده است خم شود.

ج-۲-۲-۳ هر یک از دو سر فیبر در معرض آلودگی است. سامانه جفت‌کردن فیبر ممکن است به‌طور مناسبی هم‌راستا نشود. در هر دو مورد در انتها، یک توان کاهش یافته خواهیم داشت. کارآمدی جفت‌کردن فیبر باید قبل از انتقال یک باریکه با توان زیاد، با لیزر توان پایین بازبینی شود.

ج-۳ کاربرد لیزر با اندوسکوپ‌های قابل‌انعطاف

ج-۳-۱ خلاصه خطر

- صدمه زدن به اندوسکوپ
- ایجاد آتش
- هدف‌گیری غلط باریکه
- انسداد گاز

ج-۳-۲ اقدامات پیشگیرانه

ج-۳-۲-۱ در زمانی که نوک فیبر هنوز در مجرای کاری اندوسکوپ قرار دارد، نباید باریکه لیزر را فعال کرد. ممکن است صدمه مصیبت‌باری به آندوسکوپ و/یا فیبر وارد شود و احتمالاً جراحت بیمار را در پی خواهد داشت. وقتی یک فیبر نوری در آندوسکوپ استفاده می شود، باید تا وقتی که فیبر از میان مجرای نمونه‌برداری گذشته و نوکش از انتهای آن بیرون زده و بدین‌ترتیب در میدان دید فراهم آمده توسط آندوسکوپ مشاهده شود، لیزر در حالت انتظار نگه‌داشته شود. این کار از صدمه به نوک فیبر و به سایر تجهیزاتی که ممکن است دخالت داشته باشند مثلاً به تجهیزات ویدیویی و در مورد آتش‌گیری تصادفی محفظه لیزر، جلوگیری می‌کند. به‌منظور جلوگیری از صدمه به اندوسکوپ باید هر زمان که لیزر فعال می‌شود، نوک فیبر توسط **کارور** مشاهده شود.

ج-۳-۲-۲ در کاربردهای غیر تماسی باید به‌منظور پرهیز از آسیب دیدن نوک فیبر، آن را تمیز و عاری از ضایعات بافت‌ها نگهداشت. اگر در حالت تماسی از فیبر لخت استفاده می‌شود، برای دستیابی به یک اثر برندگی کارآ، یک لایه نازک کربن در نوک فیبر ضروری است.

ج-۳-۲-۳ اگر از فیبرهای هم‌محوراستفاده می شود، به‌منظور به کمینه رساندن خطر انسداد گاز، باید در داخل بدن تنها از گاز دی‌اکسید کربن استفاده شود.

ج-۳-۲-۴ اگرچه فقط در موقعی که فیبر در داخل بدن بیمار است با لیزر کار می‌شود، باز هم مختصر خطر شکستگی فیبر در آن قسمت از فیبر که بیرون از آندوسکوپ است وجود دارد. به این دلیل، باز هم صلاح در این‌است که کارکنان از عینک محافظ استفاده کنند.

ج-۳-۲-۵ در مجرای پایینی معده-روده‌ای، احتمال آتش گرفتن گاز روده وجود دارد. استفاده از گاز کربنیک در فیبر هم‌محور، خطر را کم می‌کند.

ج-۴ به‌کارگیری لیزرها در آندوسکوپ‌ها، میکروسکوپ‌ها و کولپوسکوپ‌های قابل‌انعطاف

ج-۴-۱خلاصه خطر

- ایجاد آتش
- هدف‌گیری غلط باریکه
- توده دود لیزر (در کاواک‌های طبیعی یا تلفیقی)

ج-۴-۲ اقدامات پیشگیرانه

ج-۴-۲-۱ اگر از یک میکروسکوپ یا کولپوسکوپ استفاده می‌شود، هم فاصله کانونی میکروسکوپ یا کولپوسکوپ و هم فاصله کانونی وسیله متصل به لیزر باید یکسان باشد.

ج-۴-۲-۲ اگر از یک آندوسکوپ استفاده می‌شود (مثلاً یک لارنگوسکوپ)، باید مواظب بود که قطر باریکه لیزر می‌تواند بزرگتر از روزنه اندوسکوپ باشد که می‌تواند منجر به سوختگی یا بازتاب‌های خطرناک شود.

ج-۴-۲-۳ قبل از فعال کردن باریکه لیزر باید بازوی مفصل‌دار را به دست ماشینی مینیاتوری وصل کرد.

ج-۴-۲-۴ در طی روش‌های اجرایی زدودن کربن اضافی و کاستن بالقوه از عکس‌العمل بدن در پس زدن مواد خارجی، مقدار زیادی محلول شستشو یا سایر محلول‌ها را می‌توان به‌کار برد. این کار می‌تواند در جلوگیری از چسبندگی بافت‌ها نیز کمک کند.

ج-۴-۲-۵ به‌منظور محافظت اندام‌های مجاور بافت‌هایی که قرار است درمان شوند، باید هر موقع که امکان داشته باشد، بالشتک‌های مرطوبی را بر روی آنها گذاشت تا آنها را از آسیب ناخواسته ناشی از یک باریکه لیزر بازتابی محفوظ داشت.

ج-۴-۲-۶باریکه لیزر باید در میدان دید میکروسکوپ یا اندوسکوپ باشد و اثر لیزر بر روی بافت باید همیشه قابل دیدن باشد. باید مواظب بود که باریکه لیزر مطمئناً در محدوده دستگاه مهار شده باشد. اگر باریکه به‌طور نادرستی قرار گرفته باشد، احتمال دارد به بافت یا کارکنان پیرامون، آسیب ناخواسته‌ای وارد شود. در دست‌های ماشینی مینیاتوری پیرامحوری، وضعیت باریکه در داخل اندوسکوپ باید بدقت بازبینی شود.

ج-۵به‌کارگیری لیزرها با قابلیت دستکاری بدون دست

ج-۵-۱ خلاصه خطر

- ایجاد آتش
- انحراف باریکه از مسیر
- سوختگی پوست
- آسیب به چشم
- توده دود لیزر

ج-۵-۲ اقدامات پیشگیرانه

ج-۵-۲-۱افزاره هدایت باریکه از قبیل یک بازوی مفصل‌دار یا یک فیبر نوری، باید قبل از فعال‌کردن باریکه به دسته درمانی متصل شده باشد.

ج-۵-۲-۲به‌منظور محافظت اندام‌های مجاور بافت‌هایی که قرار است درمان شوند، باید هر موقع که امکان داشته باشد، بالشتک‌های مرطوبی را بر روی آنها گذاشت تا آنها را از آسیب ناخواسته ناشی از یک باریکه لیزر بازتابی توسط یک ابزار، محفوظ داشت.

ج-۵-۲-۳ یک سانحه متداول زمانی اتفاق می‌افتد که از لیزر استفاده نمی‌شود ولی به‌طور تصادفی در حالی که باریکه به سمت یک ماده قابل اشتعال هدف‌گیری شده است شلیک می‌شود. این کار اغلب موجب سوختگی‌ها بر روی بیمار می‌شود. صلاح در این است که ذخیره‌ای از یک محلول مناسب مانند آب نمک را برای شستشو و خاموش کردن فوری چنین آتش‌هایی، دم دست نگهدارید.

ج-۵-۲-۴ اگر به‌منظور حفاظت از چشم بیمار از اشیای فلزی استفاده می‌شود، **کارور** باید آگاه باشد که باریکه لیزر می‌تواند فلز را گرم کند و موجب آسیب حرارتی به بیمار شود.

ج-۶ کاربرد لیزرها در جراحی چشم

ج-۶-۱ خلاصه خطر

- انحراف باریکه از مسیر

- آسیب به چشم
- سوختگی پوست

ج-۶-۲ اقدامات پیشگیرانه

ج-۶-۲-۱ عدسی تماسی که در طی روش اجرایی لیزر استفاده می‌شود باید یک روکش ضد بازتاب داشته باشد تا از بازتاب بکاهد و بدین ترتیب ناحیه خطر را محدود کند. مطمئن شوید که عدسی تماسی هیچ عیبی به روکش ضد بازتاب وارد نکرده باشد.

ج-۶-۲-۲ بررسی کنید فیبر نوری که سامانه لیزر را به میکروسکوپ وصل می‌کند معیوب نباشد.

ج-۶-۲-۳ برای سامانه‌های انتقال (برای مثال یک لخته‌ساز نوری جفت‌شده با اسلیت لامپ) باید نسبت به اطمینان از اینکه باریکه لیزر اشیایی را که ممکن است منجر به ایجاد خطر شوند (مثل ابزار فلزی، شیشه‌های ساعت مچی، تنظیف‌های آغشته به محلول‌های قابل اشتعال و غیره) هدف نمی‌گیرد، توجه شود.

ج-۶-۲-۴برای سامانه‌های انتقالی که یک صافی ایمنی پویای جفت‌شده با یک ذره‌بین نوری را به‌کار می‌گیرند، پیش از هر به‌کارگیری لیزر باید جای‌گذاری مکانیکی صافی ایمنی (به‌عبارت دیگر، اینکه صافی در طی و فقط در طی مدت زمان گسیل باریکه لیزر کاملاً جای داده شده باشد) بازبینی شود.

ج-۶-۲-۵برای سامانه‌های انتقالی که در عمق تمرکز خیلی‌کوتاه کارمی‌کنند و در دستگاه ذره‌بین به‌طور مکانیکی نصب شده‌اند (مثل لخته‌ساز نوری یا مختل‌کننده نوری که اسلیت لامپ بر روی آن سوار شده باشد) قطعه چشمی باید طوری تنظیم شود که هر خطای انکساری در چشمان **کارور** را جبران کند.

ج-۷ به‌کارگیری لیزر در ارتباط با هوش‌بری

ج-۷-۱ خلاصه خطر

- ایجادآتش

ج-۷-۲ اقدامات پیشگیرانه

ج-۷-۲-۱ وقتی از یک لوله درون‌نایی استفاده می‌شود، خطر برخورد باریکه به لوله وجود دارد و زمانی که ناحیه هدف در مجرای تنفسی فوقانی باشد، متعاقباً خطر آتش‌گیری اکسیژن مخلوط درگاز بیهوشی هست. آتش، نه تنها یک خطر مستقیم است، بلکه مواد ناشی از تجزیه لوله نیز ممکن است سمی باشند. بهتر است

لوله‌های درون‌نایی که مخصوص استفاده در جراحی لیزری تولید شده‌اند، به‌کارگرفته شوند. تخلیه هوای تحت فشار می‌تواند چاره دیگری باشد.

کتاب‌نامه

IEC 60601-2-22, Medical electrical equipment – Part 2: Particular requirements for the safety of diagnostic and therapeutic laser equipment

IEC 60825-1:1993, Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide
Amendment 1 (1997)
Amendment 2 (2001)

ISO 11810-1:2005, Lasers and laser-related equipment – Test method and classification for the laser resistance of surgical drapes and/or patient protective covers – Part 1: Primary ignition and penetration

ISO 11810-2, Lasers and laser-related equipment – Test method and classification for the laser-resistance of surgical drapes and/or pati
ent-protective covers – Part 2: Secondary ignition[2]

ISO 11991:1995, Guidance on airway management during laser surgery of upper airway

EN 207:1998, Personal eye-protection – Filters and eye-protectors against laser radiation (laser-eye protectors)