

اهمیت ایمنی لیزر در کاربردهای بالینی لیزر

افشان شیرکوند^۱

لیلا عطایی فشتمی^{۲،۳}

نسرین زند^۲

۱. پژوهشگر گروه لیزر پزشکی، مرکز تحقیقات لیزر در پزشکی جهاد دانشگاهی واحد علوم پزشکی تهران، دانشجوی دکتری فوتونیک، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. متخصص پوست و مو، استادیار پژوهشی گروه لیزر پزشکی، مرکز تحقیقات لیزر در پزشکی جهاد دانشگاهی واحد علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۳. کلینیک سلول درمانی، پژوهشکده رویان، تهران، ایران

نویسنده مسئول: افشان شیرکوند تلفن: ۰۲۱۶۶۴۹۲۵۷۲
پست الکترونیک: a_shirkavand@sbu.ac.ir

خلاصه

با معرفی سیستم‌های لیزری و توسعه آن‌ها فصل نوینی از کاربری سیستم‌های لیزر در زمینه‌های متنوع تحقیقاتی و علوم بالینی و کاربردهای مختلف درمانی و تشخیصی برای متخصصان رشته‌های مختلف پزشکی در دسترس قرار گرفت. بیشتر لیزرها تابشی گسیل می‌دارند که با احتمال خطر همراه است و در برهمکنش با بافت و یا موجود زنده براساس مکانیسم‌هایی سبب احتمالی ایجاد آسیب خواهند شد. هریک از این مکانیسم‌ها براساس مشخصات تابشی چشمه لیزر همچون طول موج، مدت‌زمان پالس لیزر، توان و چگالی انرژی و براساس نوع بافت بیولوژیکی هدف ایجاد آسیب می‌نماید. بنابراین ضروری است در کلیه کاربردهای لیزر به‌ویژه کاربردهای بالینی و لیزر پزشکی برای کاهش آسیب‌های بافتی، ملاحظات ایمنی لیزر به‌هنگام استفاده از لیزرها در سطح کاربران لیزر، بیماران و سیستم‌های لیزر مورد استفاده مد نظر قرار گیرد.

مقدمه

به‌دنبال اختراع اولین لیزر یاقوت جهان در سال ۱۹۶۰ و ظهور اولین لیزر گازی جهان، نسل‌های سوم و چهارم لیزرها (لیزرهای مایع و نیمه‌رسانا) اختراع شدند. از اواسط دهه ۷۰ میلادی تاکنون استفاده از لیزر در علوم پزشکی هم در زمینه تحقیقات و هم در زمینه مسائل کاربردی با سرعت زیادی در حال رشد است. به‌علاوه کاربردهای لیزر در پزشکی محدود به یک یا چند زمینه نیست و تقریباً به تمام زمینه‌ها رسوخ کرده است و در آینده نیز جنبه‌های پیشرفته‌تری از کاربردهای تشخیصی و درمانی آن محقق خواهد شد.

بیشتر لیزرها تابشی گسیل می‌دارند که با احتمال خطر همراه است. درجه خطرناکی بستگی به مشخصات خروجی لیزر، طریق استفاده از آن

و تجربه فردی که با آن کار می‌کند، دارد. مکانیسمی که تابش لیزر ایجاد صدمه می‌نماید شبیه به همه دستگاه‌های بیولوژیکی است و با فرآیندهای حرارتی، صوتی-حرارتی و شیمیایی-نوری همراه است. درجه‌ای که هریک از این مکانیسم‌ها باعث خسارت می‌شود، بستگی به مشخصات چشمه لیزر مانند طول موج، زمان پالس، توان و چگالی انرژی دارد. اولین عامل صدمه، جذب تابش توسط سیستم بیولوژیکی است. جذب در تراز اتم و یا مولکول است و بنابراین به طول موج بستگی دارد. بنابراین در مرحله اول این طول موج لیزر است که تعیین می‌کند بافت آسیب‌پذیر کدام است.

ملاحظات ایمنی لیزر به‌هنگام استفاده از لیزرهای پزشکی باید در سطح

آسیب‌دیدگی تصادفی چشم زیاد است. چنین تابشی روی شبکه متمرکز نمی‌شود بلکه قرنیه و عدسی، آن را جذب می‌کنند و این باعث آسیب می‌شود. درحالی‌که تابش در ناحیه مرئی و نزدیک مادون قرمز باعث صدمه به شبکه می‌شود.

همان‌طور که ذکر گردید، صدمات چشم به دنبال تابش لیزر بستگی کامل به طول موج لیزر دارند. محدوده‌های مختلف طول موج‌های مورد استفاده سیستم‌های لیزری در جدول ۱ آمده است و انواع مختلف سیستم‌های لیزر مورد استفاده در پزشکی در جدول ۲ به اختصار فهرست شده‌اند.

- تابش لیزر در ناحیه طیف ماوراءبنفش دور و مادون قرمز دور در قرنیه جذب می‌شود و ضایعاتی را در آن ایجاد می‌کند.

- تابش لیزر در ناحیه طیف مرئی، مادون قرمز نزدیک و تا حدی ماوراءبنفش نزدیک می‌تواند از بخش‌های قدامی چشم عبور نماید و با شبکه برخورد کند. در این حالت پرتوی لیزر به علت موازی بودن و واگرایی کم در نقطه‌ای در شبکه کانونی می‌شود و می‌تواند موجب جوش آمدن مایع زجاجیه، نابودی سلول‌ها، تخریب شبکه و در نهایت کوری موقت و یا حتی دائم شود.

- طول موج‌های ماوراءبنفش نزدیک و مادون قرمز میانه (۱۴۰۰ تا ۳۰۰۰ نانومتر) علاوه بر موارد فوق می‌توانند به عدسی چشم نیز صدمه بزنند و موجب بروز کاتاراکت شوند. (شکل ۱)

در مجموع، جذب شدید برخی طول موج‌ها در چشم باعث آسیب‌های موضعی می‌شود و به همین دلیل نباید تحت هیچ شرایطی به لیزر خیره شد. همچنین باید توجه داشت که تنها برخورد مستقیم پرتوی لیزر با چشم خطر آفرین نمی‌باشد بلکه برخورد بازتابش آن از سطوح دیگر نیز می‌تواند صدماتی را، هر چند با شدت کمتر از برخورد مستقیم، به دنبال داشته باشد. به‌طور کلی محدوده ۴۰۰ تا ۱۴۰۰ نانومتر خطرناک‌ترین محدوده طول موج‌های لیزر بر چشم است. محدوده ۷۰۰ تا ۱۴۰۰ نانومتر نیز به دلیل نامرئی بودن بسیار خطرناک‌تر است زیرا چشم انسان به‌طور

کاربران لیزر، بیماران و سیستم‌های لیزر مورد استفاده مد نظر قرار گیرد. خطرات ناشی از لیزر تنها به خطرات تابشی باریکه لیزر در محیط محدود نمی‌شود. گزارش‌های بسیاری از حوادث ایجاد شده به هنگام کار با اشعه لیزر منتشر شده است که این آمار با گذشت زمان در حال افزایش است.

خطرات بیولوژیکی باریکه لیزر

باریکه‌های لیزری از انواع امواج الکترومغناطیس با طول موج‌های گوناگون در محدوده ماوراءبنفش، مرئی و مادون قرمز می‌باشند. در پزشکی، لیزرها را بر اساس جذب انتخابی طول موج آن‌ها توسط مواد بیولوژیکی بافت هدف برای عملکردهای مختلف پزشکی طراحی می‌کنند. لذا، انواع لیزرها بسته به طول موج، مقدار دانسیته انرژی و یا قطر باریکه خود، دارای اثرات مختلفی بر بافت‌ها و اعضای بدن هستند. به دلیل اهمیت بالای خطرات ناشی از تابش لیزر بر بافت‌های بیولوژیکی، اغلب منابع علمی تأکید ویژه‌ای بر شناخت و پیشگیری از آن‌ها دارند این تأثیرات بیشتر در ناحیه چشم و پوست مطرح هستند و به شرح ذیل می‌باشند:

۱- آسیب‌های چشم

به‌خاطر جهت‌مندی بسیار بالای پرتوی لیزر، لیزر را می‌توان یک منبع نقطه‌ای ایدئال از نور با شدت بالا دانست. به‌طور کلی ارتباط بین مکانیزم خسارت به دلیل در معرض نور قرار گرفتن بسیار پیچیده می‌باشد. احتمال ورود باریکه موازی‌شده لیزر هم به‌طور مستقیم و هم در اثر بازتاب به درون چشم بزرگ‌ترین عامل نگرانی است. بسته به طول موج، شدت و زمان قرار گرفتن چشم در معرض باریکه، انواع آسیب‌های مختلف می‌تواند به چشم وارد شود. مکانیسم دقیق آسیب دیدن بافت‌ها در نواحی زیر قرمز و مرئی ناشی از آثار گرمایی یا حتی در بعضی موارد به علت ضربه‌های فوتوآکوستیکی است. درحالی‌که در فرابنفش، آسیب در اثر فرآیندهای نور شیمیایی آغاز می‌شود. با توجه به اینکه اکثر تابش‌های لیزر در فرابنفش یا زیر قرمز قرار دارند، به دلیل نامرئی بودن نور احتمال

جدول ۱: محدوده‌های معمول طول موج لیزرهای پزشکی

مادون قرمز دور Far IR	مادون قرمز نزدیک Near IR	محدوده مرئی Visible	ماوراءبنفش نزدیک Near UV	ماوراءبنفش دور Far UV
۱۰ mm - ۱۴۰۰ nm	۷۸۰ - ۱۴۰۰ nm	۴۰۰ - ۷۸۰ nm	۳۱۵ - ۴۰۰ nm	۲۰۰ - ۳۱۵ nm

جدول ۲: انواع لیزرهای پزشکی

طول موج (nm)	نوع لیزر	طول موج (nm)	نوع لیزر
755	Alexandrite	10600	Co2
532	KTP	1064	Nd:YAG
780 - 840	Diode Laser	1540	Er:YAG

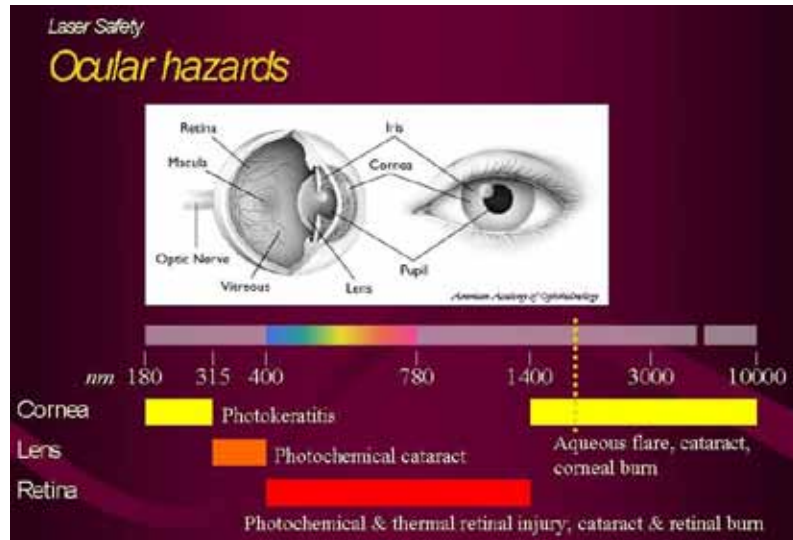
ناحیه ورید یا شریان باشد، می‌تواند با خونریزی شدید نیز همراه باشد. تابش لیزر به پوست بسته به طول موج و توان، صدمات متفاوتی را در پی دارد. از جمله این صدمات می‌توان به سوختگی پوستی (burn)، ایجاد اسکار (scar) تغییرات کروموفورهای پوستی (pigmentary change)، اریتما (erythema)، ادم (edema)، و درد اشاره نمود.



شکل ۲: آسیب سوختگی پوست به دنبال لیزر موهای زائد

تابش نور UV-A (0.315 μm -0.400 μm) بر روی پوست می‌تواند موجب تجمع بیش از حد کروموفورهای پوستی و اریتما گردد. تابش نور UV-B آسیب‌رسان‌ترین تابش بر روی پوست می‌باشد. علاوه بر آسیب حرارتی ناشی از انرژی فرابنفش UV-B (0.280 μm - 0.315 μm) احتمال سرطان‌زایی و تغییر DNA سلولی را افزایش می‌دهد.

به نظر می‌رسد تابش نور فرابنفش کوتاه یا UV-C (0.200 μm -0.280 μm) و بالا یا UV-A خطر کمتری روی پوست انسان دارد. طول موج‌های کوتاه‌تر در لایه‌های خارجی قسمت اپیدرم پوست جذب می‌شود و طول موج‌های بالاتر اثرات اولیه‌ای مثل تیره‌شدگی رنگدانه‌های پوست را دارد و اگر تابش بیش از حد باشد اریتما به وجود خواهد آمد. خطرات ناشی از تابش لیزر که پوست را تهدید می‌کنند در مقایسه با خطراتی که چشم با آن‌ها مواجه است، اهمیت کمتری دارند ولی با توسعه یافتن لیزرهای پرتوان، قسمت‌های محافظت‌نشده پوست ممکن است تحت تابش توان‌های بالای پرتوی لیزر قرار گیرد (جدول ۳). بنابراین ضرورت دارد متخصصان در زمان طراحی درمان‌های لیزری از جمله لیزر



شکل ۱: آسیب‌های احتمالی چشمی در محدوده طول موج‌های لیزری مختلف

طبیعی با عکس‌العمل پلک زدن در مقابل نور مرئی از ورود طولانی‌مدت آن جلوگیری می‌کند ولی در مقابل نور نامرئی مردمک کاملاً باز می‌ماند و چشم پلک نمی‌زند. علیرغم اینکه آسیب‌های چشمی به راحتی قابل پیشگیری هستند، براساس نتایج مطالعات FDA، ۷۵ درصد حوادث لیزر از سال ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۴ شامل آسیب‌های چشمی بوده است.

آسیب‌های بافتی

معمول‌ترین آسیب‌های بافتی که به وسیله لیزر روی بافت ایجاد می‌گردد، آسیب‌های حرارتی خصوصاً در ناحیه پوست می‌باشد. در این مورد پروتئین‌های بافت در اثر افزایش حرارت ناشی از جذب نور لیزر تجزیه می‌شوند. فرآیند آسیب حرارتی در حالتی اتفاق می‌افتد که بافت بیشتر از ۱۰ میکروثانیه و در طول موج‌های فرابنفش نزدیک تا فروسرخ دور باشد (۰.۳۱۵ μm - ۱۰۳ μm) موج‌های صوتی ناشی از تابش لیزر در زمان‌های زیر میکروثانیه نیز می‌توانند به بافت آسیب برسانند. اثرات حرارتی آسیب بافت به دنبال تابش لیزر به عواملی از جمله: ضرایب جذب و پراکندگی بافت در طول موج لیزر مورد نظر، شدت یا تابندگی لیزر، زمان تابش لیزر و تکرار شونده‌گی پالس‌ها در مورد لیزرهای پالسی، مقدار جریان عبوری از عروق بافت در نقطه مورد نظر، اندازه محلی که تحت تابش قرار گرفته است، بستگی دارد.

پوست انسان تقریباً همه محدوده طول موج‌های ماوراء بنفش تا مادون قرمز را جذب می‌کند. هرچند صدمات پوستی ناشی از لیزر در مقایسه با صدمات چشمی کمتر هستند و از نظر ایمنی، پوست پس از چشم در مرتبه دوم اهمیت قرار دارد، اما نباید آن‌ها را دست‌کم گرفت زیرا لیزرها به‌ویژه لیزرهای جراحی و پرتوان، قابلیت نفوذ بالایی به بدن دارند و می‌توانند برش‌های عمیقی در پوست ایجاد کنند و در صورتی که برش در

مشکلات منحصر به فرد مرتبط با اتاق‌هایی که لیزر قرار است مورد استفاده قرار گیرد و سیستم‌های لیزری مورد استفاده قرار دارد. بر این اساس آموزش‌هایی برای تمامی کاربران مورد نیاز است.

طبقه‌بندی‌های خطرات لیزر

هدف از طبقه‌بندی خطرات لیزر تهیه و ارائه هشدارهای لازم برای استفاده‌کنندگان لیزر (با مشخص کردن خطرات مربوط به هر سطح تابش) به وسیله دستورالعمل‌ها و علامت‌های مناسب می‌باشد. همچنین این طبقه‌بندی پایه‌ای برای تعریف اقدامات کنترلی و نظارت‌های پزشکی خواهد بود. لیزرهای تولیدشده باید توسط سازنده طبقه‌بندی و علامت‌ها و هشدارهای لازم باید بر روی آن نصب شده باشد. باید یادآور شویم در صورتی که برای انجام کاری تغییری در سیستم لیزر داده شود، ممکن است طبقه‌بندی لیزر تغییر کند.

در حال حاضر طبقه‌بندی مهم‌تری نیز توسط کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیکال (International Electrotechnical Commission, IEC) صورت گرفته است که در حال حاضر به عنوان مرجع و راهنمای مصرف‌کنندگان و سازندگان لیزرها محسوب می‌گردد. در زیر طبقه‌بندی انجام‌شده توسط (IEC) آورده شده است. IEC لیزرها را در چهار گروه اصلی (مشمتمل بر هفت زیر گروه) به شرح ذیل طبقه‌بندی کرده است:

کلاس I: لیزرهای گروه ۱ عموماً توان کمی دارند (معمولاً لیزرهای پیوسته با توان ۴/ میکرووات در طول موج‌های مرئی) و در شرایط معمول تابش مستقیم پرتوی آن‌ها حتی در حالتی که به علت عبور از تجهیزات اپتیکی روی چشم متمرکز شده باشد، بی‌خطر است و نمی‌توانند به چشم آسیب برسانند. این لیزرها معمولاً لیزرهای بسته هستند و پرتوی آن‌ها به محیط ارسال نمی‌شود و دستگاه‌های "پخش دیسک فشرده" و چاپگرهای لیزری مثال‌هایی از این کلاس هستند.

کاربران این لیزرها را خطرات ناشی از تابش نور لیزر تهدید نمی‌کند و

موهای زائد، لیزر ضایعات عروقی، لیزرهای جوانسازی پوست و جراحی به‌دقت پارامترهای تابشی بهینه سیستم لیزر را انتخاب نمایند به طوری که از این عوارض جانبی آسیب بافتی تا حد ممکن جلوگیری شود. به‌علاوه سازمان‌های جهانی ایمنی در برابر پرتوهای لیزر، قوانین و گایدلاین‌هایی وضع کرده‌اند که لیزر در کلینیک‌های تخصصی پزشکی بخصوص در کلینیک‌های پوست باید تحت نظارت یک متخصص بالینی دارای آشنایی کافی با تکنیک‌های لیزرهای پزشکی و آگاه به خطرات لیزر و قوانین ایمنی لیزر انجام پذیرد.

استانداردهای لیزرهای پزشکی

مؤسسات مختلف بین‌المللی در وضع قوانین ایمنی سیستم‌های لیزر دخیل هستند. یکی از مهم‌ترین این مؤسسات مؤسسه استانداردهای ملی آمریکا (American National Standards Institute, ANSI) می‌باشد که مورد تأیید بسیاری از مراجع بین‌المللی است. استانداردهای جهانی موجود لیزرهای پزشکی براساس اعلام این مؤسسه عبارت‌اند از:

ANSI Z136.1 (2000): ایمنی استفاده از لیزرها

ANSI Z136.3 (1996): ایمنی استفاده از لیزرها در تسهیلات

خدمات بهداشتی

این استانداردها گایدلاین‌هایی را برای ایمنی استفاده از لیزرهای کاربردی تشخیصی و درمانی در کلینیک‌های درمانی و خدمات بهداشتی ارائه داده است. براساس این گایدلاین‌ها، لیزرهای مورد استفاده در کاربردهای خدمات بهداشتی درمانی باید از نظر توان ورودی و خروجی، پارامترهای تابشی، سخت‌افزار و مکانیک سیستم، عملکرد، مایعات و گازهای به‌کاررفته به‌دقت و تفکیک، آزمون‌های کالیبراسیون‌شان صورت پذیرفته باشد. این استانداردها شامل کنترل‌های مهندسی، نصب و به‌کارگیری به‌منظور ایمنی بیماران و کادر درمانی و تیم متخصصان بهداشتی درمانی لازم و ضروری است. کنترل ایمنی لیزرهای پزشکی برپایه ارزیابی خطرات بالقوه تابش لیزر برای بیمار و پرسنل متخصص،

جدول ۳: اثرات پایه بیولوژیکی تابش لیزر

محدوده طول موج	چشم	پوست
UV-C (0.200–0.280 microns)	فوتوکراتینیز	اریتما/ سرطاز پوست
UV-B (0.280–0.315 microns)		پیر شدن پوست/ افزایش رنگدانه
UV-A (0.315–0.400 microns)	کاتاراکت فوتوشیمیایی	تیرگی رنگدانه‌ای/ واکنش‌های حساسیتی نوری/ سوختگی پوست
Visible (0.400–0.780 microns)	آسیب‌های شبکیه فوتوشیمیایی و حرارتی	واکنش‌های حساسیتی نوری/ سوختگی پوست
IR-A (0.780–1.40 microns)	سوختگی شبکیه کاتاراکت	سوختگی پوست
IR-B (1.40–3.00 microns)	سوختگی قرنیه احتمال کاتاراکت	سوختگی پوست
IR-C (3.00–1000 microns)	سوختگی قرنیه	سوختگی پوست

محسوب می‌شود. پرتوهای این لیزرها می‌تواند به پوست نیز آسیب برساند و یا سبب وقوع آتش‌سوزی شود.

تشخیص کلاس یک لیزر یکی از موارد ایمنی کار با سیستم‌های لیزر در آزمایشگاه و یا کلینیک‌های پزشکی است. برای تشخیص کلاس ایمنی یک لیزر باید به دو نکته ذیل توجه نمود:

۱. در برخی از موارد کلاس‌بندی محصولات لیزری یک پروسه مفصل می‌باشد. این پروسه شامل تعیین آستانه حداکثر تابش، اندازه‌گیری تابش لیزر، اندازه‌گیری و تعیین مشخصات پالس تابشی و ارزیابی مقررات مختلف (محافظاها، اینترلاک‌ها و ...) که توسط استانداردها مشخص شده‌اند، می‌باشد.

۲. تعیین کلاس لیزرها، یک مشخصه مورد نیاز است که توسط تولیدکننده‌های لیزر مشخص می‌شود و علامتی که کلاس لیزر را مشخص می‌کند روی محصول قرار داده شده است. کلاس لیزر را می‌توان در گوشه پایین سمت چپ لوگوی سیستم دید.

خطرات غیر تابشی باریکه لیزر

خطرات متفرقه کار با لیزر به‌طور خلاصه عبارت‌اند از خطرات الکتریکی، آلاینده‌های شیمیایی در هوا، خطر آتش‌سوزی و انفجار، رنگ‌ها و محلول‌های لیزر، پرتوهای متفرقه و پلاسما و سروصدا. که لازم است با رعایت استانداردها و اصول ایمنی لیزری این خطرات متفرقه را نیز در کلینیک و یا آزمایشگاه مورد استفاده تحت کنترل خود داشته باشیم.

خطرات ناشی از منبع تغذیه ولتاژ الکتریکی

تقریباً همه حوادث جانی و جدی لیزرها به‌وسیله منبع تغذیه الکتریکی آن‌ها، عموماً به‌صورت برق‌گرفتگی و به‌علت سهل‌انگاری، حادث می‌شود. برای اینکه اغلب لیزرها برای انجام عمل پمپاژ در کاواک از منابع الکتریکی با ولتاژ بالا بهره می‌برند. به‌طور مثال ممکن است منبع تغذیه یک لیزر CO₂ داری قابلیت سی‌هزار ولت و ۴۰۰ آمپر باشد. به‌همین دلیل حتی شارژ باقی‌مانده در خازن‌های لیزرهای پالسی مرگبار است. همچنین در بسیاری از سیستم‌های لیزر از آب به‌عنوان خنک‌کننده استفاده می‌شود. با کنار هم قرار گرفتن آب و ولتاژ بالا خطرات فراوانی کاربران را تهدید می‌کند و لذا در کاربری لیزرها رعایت کلیه نکات ایمنی توصیه‌شده برای منابع تغذیه ولتاژ بالا کاملاً ضروری است.

خطر آتش‌سوزی

احتمال آتش‌سوزی بخصوص در زمان استفاده از لیزرهای پرتوان وجود دارد. در این حالت به‌علت انرژی زیاد لیزر، در صورت برخورد اتفاقی اشعه لیزر با مواد قابل اشتعال، آتش‌سوزی روی می‌دهد. لذا باید مواد اشتعال‌زا از محیط کار دور شوند یا دارای پوشش‌های محافظ باشند چون حتی

نیازی به انجام اقدامات کنترلی ندارند ولی در هنگام سرویس این لیزرها بایستی اقدامات کنترلی انجام گیرند. بسیاری از لیزرهایی که در این طبقه قرار گرفته‌اند دارای لیزرهای پرتوان می‌باشند که در جعبه‌ها یا محوطه‌های محافظ قرار داده شده‌اند. پس در هنگام وارد شدن به این اتاق‌ها و یا باز کردن محافظ‌ها اقدامات کنترلی باید انجام گیرد.

کلاس I.A: گروهی از لیزرها با توان پایین که برای اهداف بصری ساخته نشده‌اند (مانند لیزرهای بارکدخوان سوپرمارکت‌ها) در این دسته قرار می‌گیرند. حد بالای توان این دسته از لیزرها ۴ میلی‌وات می‌باشد. این دسته از لیزرها طوری طراحی می‌شوند که در طول ۱۰۰۰ ثانیه تابش میزان دوزی از انرژی که تحویل می‌دهند از لیزرهای کلاس I بیشتر نشود.

کلاس II: لیزرهای کم‌توان که در محدوده نور مرئی تابش می‌کنند و توان آن‌ها از لیزرهای کلاس I بیشتر می‌باشد در این کلاس قرار می‌گیرند ولی توان تابشی آن‌ها از ۱ میلی‌وات تجاوز نمی‌کند. این لیزرها به چشم آسیب نمی‌رسانند مگر آنکه کسی عمداً به آن‌ها خیره شود. در غیر این‌صورت عکس‌العمل طبیعی چشم به نور مرئی و پلک زدن، چشم را در برابر نور لحظه‌ای این لیزرها حفاظت می‌کند.

کلاس IIIA: لیزرهایی هستند که توان نور خروجی آن‌ها بین ۱ میلی‌وات و پنج میلی‌وات است. این لیزرها معمولاً آسیب جدی به چشم نمی‌زنند مگر آنکه شخص به نور آن‌ها خیره شود یا نور آن‌ها با وسایل متمرکزکننده نور مانند عدسی دیده شود. بین لگوهای اختطاری که روی لیزرهای کلاس IIIA که شدت آن‌ها از میزان ۲/۵ mW/cm² تجاوز نمی‌کند (لوگوی احتیاط) و لیزرهای کلاس IIIA که شدت آن‌ها از میزان ۲/۵ mW/cm² (لوگوی خطر) تفاوت وجود دارد.

کلاس IIIB: لیزرهای پیوسته‌ای هستند که توان پرتوی خروجی آن‌ها بین ۵ و ۵۰۰ میلی‌وات است یا لیزرهای پالسی هستند که انرژی آن‌ها در مدت ۰/۲۵ ثانیه (زمان مورد نیاز برای پلک‌زدن انسان) کمتر از ۰/۱۲۵ ژول است. لیزرهای طبقه ۳b برای چشم خطرناک هستند و نگاه کردن به پرتوی مستقیم آن‌ها یا انعکاسات آینه‌ای پرتوهای آن‌ها می‌تواند به چشم آسیب جدی وارد کند. این لیزرها خطر آتش‌سوزی ایجاد نمی‌کنند و بازتاب‌های ناشی از سطوح پراکننده از این لیزرها عموماً خطرناک نیستند. در کار با این لیزرها اقدامات کنترلی معینی لازم می‌باشد.

کلاس IV: لیزرهای پرتوان (پیوسته: ۵۰۰ میلی‌وات، پالسی J/cm² ۱۰-۲ یا حد آستانه پراکندگی) لیزرهای پیوسته‌ای هستند که توان خروجی آن‌ها بیشتر از ۵۰۰ میلی‌وات می‌باشد و یا لیزرهای پالسی هستند که انرژی تابشی آن‌ها در مدت ۰/۲۵ ثانیه بیشتر از ۰/۱۲۵ ژول است. این لیزرها بسیار خطرناک هستند پرتوی مستقیم آن‌ها یا انعکاسات آینه‌ای و حتی انعکاسات پراکنده پرتوی آن‌ها برای چشم خطر جدی

پرتوی لیزر انعکاسی نیز می‌تواند سبب آتش‌سوزی شود.

خطرات ناشی از دود یا مواد شیمیایی حاصل از عملکرد سیستم‌های لیزری

برخی مواد استفاده‌شده در لیزرها بخصوص به‌عنوان مادهٔ فعال، سمی، خطرناک و بعضاً سرطان‌زا هستند. لذا همواره باید از تماس پوست با این مواد پیشگیری نمود. همچنین دمای بالای حاصل از عملکرد لیزر قادر است اکثر مواد را بخار کند. بخار حاصل می‌تواند حاوی مواد سمی و سرطان‌زا مانند سیانور و نیز دود و محصولات گازی خطرناکی باشد که ممکن است سبب بروز اختلالات تنفسی و آسیب‌های جدی به سلامتی انسان شود.

مطالعات فراوانی نیز در ده سال اخیر نشان می‌دهند که بخارات و دود حاصل از لیزرها می‌توانند شامل برخی مواد بیولوژیکی زیست‌پذیر مانند ویروس‌های عفونی، ژن‌های ویروس‌ها و یا سلول‌های زندهٔ سرطانی باشند و کاربران، در معرض خطر تنفس آن‌ها هستند به‌همین دلیل توصیه می‌شود در محیط کار با لیزر از تهویهٔ مناسب استفاده شود.

خطرات ناشی از بر هم‌کنش لیزر با گازها و مواد دیگر محیط کار (محیطی)

این خطرات مواردی مانند آتش‌سوزی است که می‌تواند در حین استفاده از لیزرهای پرتوان، به‌علت برخورد اتفاقی پرتوی لیزر با مواد قابل اشتعال، روی دهد. به‌همین دلیل توصیه می‌شود گازها و مواد اشتعال‌زا از محیط کار لیزر دور نگهداشته شوند یا دارای پوشش‌های محافظ باشند چون حتی پرتوی لیزر انعکاسی نیز می‌تواند سبب آتش‌سوزی شود.

خطرات ناشی از اشتباهات کاربران یا تعمیرکاران

معمولاً خطرات احتمالی که به‌دلیل عملکرد اشتباه رخ می‌دهند عبارت‌اند از: خطر تماس پوست با خنک‌کنندهٔ برودتی (بخصوص در لیزرهای پرتوان) و سوختگی و نیز خطر ناشی از تابش انحرافی لیزر به‌دلیل خرابی در سیستم اپتیکی و هدایت‌کننده.

اقدامات کنترلی و ایمنی لیزر

- کنترل فنی مهندسی: این اقدامات میزان مواجههٔ افراد را محدود و

به‌طور مؤثری ایرادیانس را کاهش می‌دهند که شامل:

a. محیط محافظ: فرارگیری لیزر در محدوده و فضای مشخص کنترل‌شده با سیستم‌های ایمنی خاص قرار دارند و از بازتابش بیش از حد مجاز به دیگر نقاط بخصوص به انسان جلوگیری می‌کنند.

b. سوئیچ اصلی: (Key switches) کلیهٔ لیزرهای صنعتی و بخصوص لیزر کلاس IV دارای سوئیچ اصلی هستند که امکان استفاده از لیزر را تنها برای افراد محدودی میسر می‌سازد. در چنین سیستم‌هایی امکان به‌کارگیری دستگاه توسط افراد غیر مجاز به حداقل می‌رسد.

c. کاهندهٔ پرتو: (Beam attenuators) توان خروجی لیزر را با این کاهنده‌ها به حداقل MPE^1 کاهش می‌دهد.

d. قفل داخلی: (inter locks) این سیستم این امکان را فراهم می‌کند که هرگاه فردی بدون توجه به علائم هشداردهندهٔ لیزر وارد محوطهٔ لیزر شود، بلافاصله لیزر را خاموش کند تا امکان صدمهٔ پرتوی لیزر به فرد به حداقل ممکن برسد.

e. کنترل مسیر پرتو

f. علائم هشداردهنده (جدول ۴)

-کنترل‌های مدیریتی: که توسط مسئول ایمنی لیزر (LSO^2) ادارهٔ ایمنی لیزر تعیین می‌شود. برای کار با هر نوع لیزر باید دستورالعمل وجود داشته باشد. این دستورالعمل باید در دسترس شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت باشد و نیز در محل کار موجود باشد و مورد استفادهٔ کارکنان با هر لیزر قرار گیرد. مسئولیت‌های کارفرما و کارگران به شرح ذیل است:

* کاربرانی که مجاز به استفاده از لیزر هستند با دستگاه‌ها کار کنند، خطرات را بشناسند و به اصول ایمنی توجه کنند. * کارفرمایان میزان مجاز استفاده و تماس با لیزر را آموزش دهند و مسئول ارزیابی خطرات را تعیین کنند و وسایل کنترلی را به‌طور دوره‌ای ارزیابی کنند.

* تمامی سوانح ناشی از لیزر ثبت و گزارش شود.

* آگاه‌نمودن مسئولان امور ایمنی از هرگونه تغییر در سیستم‌های

جدول ۴: علائم هشداردهنده

رنگ نور	صوت	وضعیت مناطق لیزر	توضیحات
سبز	بیصدا	کلاس لیزر A1,2,3	مناطق رو باز هستند
زرد (پیوسته و تکه‌تکه)	بیصدا	کلاس لیزر B3	مناطق لیزر کنترل شوند (ورود مجاز)
قرمز تیره	صدادار	خطرات مناطق دورتر پیشرفت می‌کند	اجازهٔ ورود به هیچ‌کس داده نمی‌شود

1. Maximum permissible exposure

2. Laser Safety Officer (LSO)

لیزری و جلوگیری از استفاده تلفن همراه در محیط به کارگیری لیزر.

* لیزر در محیطی مشخص و معین به کار گرفته شود.

* ورود به محیط لیزر باید کاملاً قابل کنترل و دارای تمامی علائم هشداردهنده باشد.

* آگاهی و آشنایی با استاندارد و راهنمایی ایمنی لیزر بخصوص در زمینه کلاس‌های لیزر.

* ارائه رهنوشتی از ارقام کنترلی و دستورالعمل‌های ایمنی به مسئولان امور ایمنی و آگاه کردن آن‌ها از هرگونه تغییر.

* قبل از فعالیت همه افراد از خطرات بالقوه لیزر آگاه شوند و درمورد احتیاط کار با لیزرها هشدار داده شود.

- حفاظت فردی: لباس محافظ برای افرادی که مستقیماً در معرض تابش دائمی تابش فرابنفش گسیل شده از لیزرهای اگزایمر مورد نیاز است. این لباس‌ها در مواردی از تابش با سطح توان یا دانسیته انرژی بالا طوری تهیه و استفاده می‌شود که مقادیر تابش رسیده به پوست کمتر از ماکزیمم سطح مجاز تابش (MPE) برای بافت پوست باشد. برای محافظت پوست علاوه بر دستکش و لباس کار مناسب استفاده از کرم‌های ضد آفتاب نیز مفید است. شیلد صورت در موارد کار با لیزر توصیه می‌شود این شیلدها یا حفاظ‌های بخصوص برای بازتاب‌های قوی و پرتوهای مستقیم توصیه شده است. برای لیزرهای کلاس IV جنس لباس‌ها بایستی مقاوم در برابر آتش‌سوزی باشد. مثلاً لباس‌های پشم یا ابریشمی در حین کار با اشعه مرئی و مادون قرمز لیزر در جاهایی که میزان ایرادیانس پرتو بیش از 2 w/cm^2 است، استفاده شود. زمانی که برای حفاظت از چشم‌ها از عینک حفاظتی استفاده می‌شود باید توجه داشت که عینک براساس نوع طول موج خاص لیزر انتخاب شود تا به خوبی از چشم محافظت کند. استفاده از یک عینک ممکن است برای چند طول موج دیگر محافظ خوبی به حساب نیاید. نوع عینک براساس حداکثر تابش مجاز، حداکثر شدت پرتو و طول موج خروجی لیزر انتخاب شود. باید مدت زمانی که عینک در برابر شدت لیزر مقاومت می‌کند مشخص باشد. عینک‌های حاوی فیلترهایی با حداقل انعکاس نسبت به دیگر عینک‌ها محافظت بیشتری دارد. فیلترهای عینک باید در برابر گرد و غبار و حرارت مقاوم باشند در غیر این صورت سریع‌تر کارایی خود را از دست می‌دهند.

- حفاظت محیطی: روشنایی محیط کار تا حد ممکن افزایش یابد تا مردمک چشم تنگ‌تر شود. به علاوه دیوارهای اتاق مورد استفاده برای لیزرها نباید از مواد منعکس کننده نور باشند. وجود علائم هشداردهنده برای وجود لیزر الزامی است. استقرار و به کارگیری لیزر در محلی مسقف و محفوظ و پوشاندن کامل سطح پنجره آن مکان و وجود تجهیزات اطفاء حریق برای مهار آتش‌سوزی‌های احتمالی باید مورد توجه قرار گیرد. همه سیم‌ها و شیشه روی لیزر بایستی با یک محافظی جهت جلوگیری از احتراق پوشانده شوند.

References:

1. Medical Lasers: Quality Control, Safety Standards, and Regulations, AAPM General Medical Physics Committee and American College of Medical Physics, October 2001.
2. Guidelines for Laser Safety and Hazard Assessment, http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_id=1705&p_table=DIRECTIVES
3. Laser Reference Guide, Lawrence Berkeley National Laboratory, Edition 1st, 2011.
4. The Laser Institute of America (LIA), Laser Safety Guide, Twelfth Edition 2015 <https://www.lia.org>
5. Fred Seeber, Light Sources and Laser Safety, Camden County College Blackwood, New Jersey, 2007.
6. Markolf H. Niemz, Laser-tissue interactions: Fundamentals and Applications, springer, 2002.
7. Donna Castelluccio, Implementing AORN Recommended Practices for Laser Safety, AORN journal, 2012: 95(5); 612–27.
8. Roy Henderson, Karl Schulmeister, Laser Safety, Taylor and Francis, 2004.
9. UMMC Laser Safety Manual, University of Mississippi Medical Center, 2011 https://www.ummc.edu/uploadedFiles/UMCedu/Content/Administration/Business_Services/Physical_Facilities/Environmental_Health_Services/Manuals/LaserSafetyManual2011.pdf
10. OSHA Safety and Health Topic: “Laser Hazards”, Z136.1, American National Standard for Safe Use of Lasers, 2014, <http://www.osha.gov/SLTC/laserhazards/standards.html>
11. Lab Safety Guide - Chapter 5: Laser Safety, New Mexico state university, 2005 http://safety.nmsu.edu/programs/lab_safety/l_saf_guide05.html
12. Charles blain, Lasers: A guide to the book literature, Nova science publisher, 2002.
13. Health Risks from the Use of Laser Pointers, WHO Fact Sheet No 202, 1998, <http://www.who.int/uv/resources/fact/en/fs202laserpointers.pdf>
14. Laser Safety Manual, Business Affairs Division of Environmental Health and Safety Department of Radiation Control and Radiological Services, April 2015 <http://webfiles.ehs.ufl.edu/lasersafeman.pdf>
15. Laser Safety, Department of Environmental Health and Safety, University of Texas at Dallas, April 2012, http://www.utdallas.edu/ehs/download/Laser_Safety.pdf
16. Myron Wolbarsht, D. H. Sliney , J. Mellerio, Safety with Lasers and Other Optical Sources: A Comprehensive Handbook 1st Edition, Springer-Verlag, New York, 1992.