لیزر در پزشکی؛ ۱۳۹۵، دورهٔ ۱۳، شمارهٔ ۲و۳، صفحات: ۷۱-۶۴.

مقاله آموزشی

اهمیت ایمنی لیزر در کاربردهای بالینی لیزر

افشان شیرکوند [۱]
لیلا عطایی فشتمی [۳،۲]
نسرین زند [۲]

۱. *پژوهشگر گروه لیزر پزشکی، مرکز تحقیقات لیزر در پزشکی جهاد دانشگاهی واحد علوم پزشکی تهران، دانشجوی دکتری فوتونیک، پژوهشکدهٔ 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، پژوهشکدهٔ رویان، تهران، ایران*

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

خلاصه

با معرفی سیستم‌های لیزری و توسعهٔ 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 چشمهٔ لیزر همچون طول موج، مدت‌زمان پالس لیزر، توان و چگالی انرژی و براساس نوع بافت بیولوژیکی هدف ایجاد آسیب می‌نماید. بنابراین ضروری است در کلیهٔ 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 دههٔ ۷۰ میلادی تاکنون استفاده از لیزر در علوم پزشکی هم در زمینهٔ تحقیقات و هم در زمینهٔ 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. درجهٔ خطرناکی بستگی به مشخصات خروجی لیزر، طریق استفاده از آن و تجربهٔ فردی که با آن کار می‌کند، دارد. مکانیسمی که تابش لیزر ایجاد صدمه می‌نماید شبیه به همهٔ 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 چشمهٔ لیزر مانند طول‌موج، 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 مرحلهٔ اول این طول موج لیزر است که تعیین می‌کند بافت آسیب‌پذیر کدام است.

ملاحظات ایمنی لیزر به‌هنگام استفاده از لیزرهای پزشکی باید در سطح

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-16]

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

خطرات بیولوژیکی باریکهٔ لیزر

باریکه‌های لیزری از انواع امواج الکترومغناطیس با طول موج‌های گوناگون در محدودهٔ ماوراءبنفش، مرئی و مادون قرمز می‌باشند. در پزشکی، لیزرها را براساس جذب انتخابی طول موج آن‌ها توسط مواد بیولوژیکی بافت هدف برای عملکردهای مختلف پزشکی طراحی می‌کنند. لذا، انواع لیزرها بسته به طول‌موج، مقدار دانسیتهٔ انرژی و یا قطر باریکهٔ خود، دارای اثرات مختلفی بر بافت‌ها و اعضای بدن هستند. به‌دلیل 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 ناحیهٔ 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 به‌دلیل درمعرض نور قرار گرفتن بسیار پیچیده می‌باشد. احتمال ورود باریکهٔ موازی‌شدهٔ 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 به‌علت 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، به‌دلیل نامرئی بودن نور احتمال آسیب‌دیدگی تصادفی چشم زیاد است. چنین تابشی روی شبکیه متمرکز نمی‌شود بلکه قرنیه و عدسی، آن‌را جذب می‌کنند و این باعث آسیب می‌شود. درحالی‌که تابش در ناحیهٔ مرئی و نزدیک مادون قرمز باعث صدمه به شبکیه می‌شود.

همان‌طورکه ذکر گردید، صدمات چشم به‌دنبال تابش لیزر بستگی کامل به طول‌موج لیزر دارند. محدوده‌های مختلف طول موج‌های مورد استفادهٔ سیستم‌های لیزری در جدول ۱ آمده است و انواع مختلف سیستم‌های لیزر مورد استفاده در پزشکی در جدول ۲ به‌اختصار فهرست شده‌اند.

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

- تابش لیزر در ناحیهٔ طیف مرئی، مادون قرمز نزدیک و تا حدی ماوراءبنفش نزدیک می‌تواند از بخش‌های قدامی چشم عبور نماید و با شبکیه برخورد کند. در این حالت پرتوی لیزر به‌علت موازی بودن و واگرایی کم در نقطه‌ای در شبکیه کانونی می‌شود و می‌تواند موجب جوش‌آمدن مایع زجاجیه، نابودی سلول‌ها، تخریب شبکیه و درنهایت کوری موقت و یا حتی دائم شود.

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

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

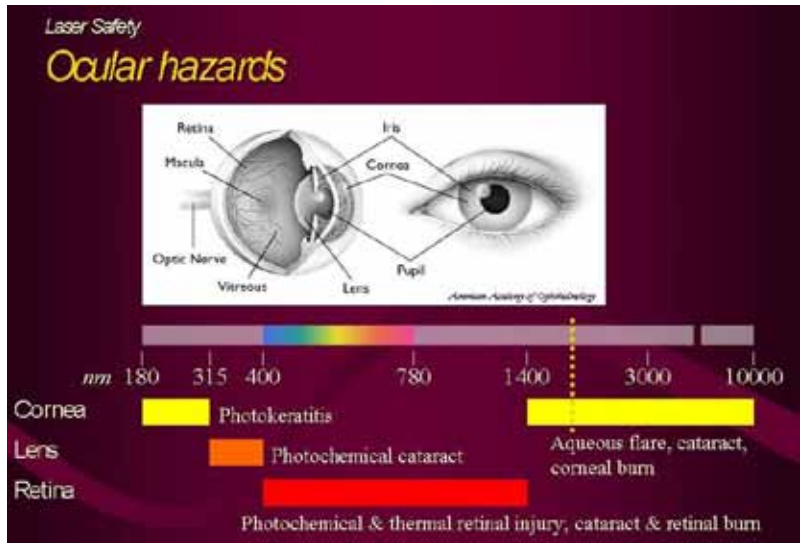
جدول۱: محدوده‌های معمول طول موج لیزرهای پزشکی

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

جدول۲: انواع لیزرهای پزشکی

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

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-16]



شکل۱: آسیب‌های احتمالی چشمی در محدودهٔ طول‌موج‌های لیزری مختلف

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

آسیب‌های بافتی

معمول‌تریـن آسـیب‌های بافتـی که به‌وسـیلهٔ لیـزر روی بافت ایجاد می‌گردد، آسـیب‌های حرارتی بخصوص در ناحیهٔ پوست می‌باشد. در این مورد پروتئین¬های بافت در اثر افزایش حرارت ناشـی از جذب نور لیزر تجزیه می‌شوند. فرآیند آسیب حرارتی در حالتی اتفاق می¬افتد که بافت بیشتر از ۱۰ میکروثانیه و در طول موج¬های فرابنفش نزدیک تا فروسرخ دور باشد (۰,۳۱۵ um – ۱۰۳ um) موج های صوتی ناشی از تابش لیزر در زمان¬های زیر میکروثانیه نیز می‌توانند به بافت آسیب برسانند. اثرات حرارتی آسـیب بافت به‌دنبال تابش لیزر به عواملی ازجمله: ضرایب جذب و پراکندگـی بافت در طول موج لیزر مورد نظر، شـدت یا تابندگی لیزر، زمان تابش لیزر و تکرارشـوندگی پالس‌ها در مورد لیزرهای پالسی، مقدار جریـان عبوری از عروق بافت در نقطـهٔ مورد نظر، اندازهٔ محلی که تحت تابش قرار گرفته است، بستگی دارد.

پوسـت انسان تقریباً همهٔ محدودهٔ طول موج‌های ماوراء بنفش تا مادون قرمز را جذب می‌کند. هرچند صدمات پوسـتی ناشی از لیزر درمقایسه با صدمات چشـمی کمتر هسـتند و از نظر ایمنی، پوسـت پس از چشم در مرتبهٔ دوم اهمیت قرار دارد، اما نباید آن‌ها را دسـت‌کم گرفت زیرا لیزرها به‌ویـژه لیزرهـای جراحی و پرتـوان، قابلیت نفوذ بالایی بـه بدن دارند و می‌توانند برش‌های عمیقی در پوسـت ایجاد کنند و درصورتی‌که برش در ناحیهٔ ورید یا شـریان باشـد، می‌تواند با خونریزی شدید نیز همراه باشد. تابش لیزر به پوست بسته به طول موج و توان، صدمات متفاوتی را درپی دارد. ازجملهٔ این صدمات می‌توان به سـوختگی پوسـتی (burn)، ایجاد اسکار (scar) تغییرات کروموفورهای پوستی(pigmentary change)، اریتما(erythema)، ادم (edema)، و درد اشاره نمود.



شکل۲: آسیب سوختگی پوست به‌دنبال لیزر موهای زائد

تابش نور UV-A (0.315 µm-0.400 µm) برروی پوست می‌تواند موجـب تجمع بیش‌ازحد کروموفورهای پوسـتی و اریتما گردد. تابش نور UV-B آسیب‌رسـان‌ترین تابش برروی پوسـت می‌باشد. علاوه‌بر آسیب حرارتی ناشی از انرژی فرابنفش UV-B (0.280 mm - 0.315 mm) احتمال سرطان‌زایی و تغییر DNA سلولی را افزایش می‌دهد.

به‌نظر می‌رسـد تابش نـور فرابفش کوتاه یـا UV-C: (0.200 µm- 0.280 µm) و بالا یا UV-A خطر کمتری روی پوسـت انسـان دارد. طول‌موج‌های کوتاه‌تر در لایه‌های خارجی قسـمت اپیدرم پوسـت جذب می‌شود و طول موج‌های بالاتر اثرات اولیه‌ای مثل تیره‌شدگی رنگدانه‌های پوست را دارد و اگر تابش بیش‌ازحد باشد آنگاه اریتما به‌وجود خواهد آمد.

خطرات ناشـی از تابش لیزر که پوسـت را تهدید می‌کنند درمقایسـه با خطراتی که چشـم با آن‌ها مواجه اسـت، اهمیت کمتری دارند ولی با توسـعه‌یافتن لیزرهای پرتوان، قسـمت‌های محافظت‌نشدهٔ پوست ممکن است تحت تابش توان‌های بالای پرتوی لیزر قرار گیرد (جدول۳). بنابراین ضـرورت دارد متخصصان در زمان طراحی درمان‌های لیزری ازجمله لیزر

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-16]

موهای زائد، لیزر ضایعات عروقی، لیزرهای جوانسازی پوست و جراحی به‌دقت پارامترهای تابشی بهینهٔ سیستم لیزر را انتخاب نمایند به‌طوری‌که 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 مؤسسهٔ 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 عبارت‌انداز:

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 ازنظر توان ورودی و خروجی، پارامترهای تابشی، سخت‌افزار و مکانیک سیستم، عملکرد، مایعات و گازهای به‌کاررفته به‌دقت و تفکیک، آزمون‌های کالیبراسیونشان صورت‌پذیرفته 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 برپایهٔ ارزیابی خطرات بالقوهٔ تابش لیزر برای بیمار و پرسنل متخصص، مشکلات منحصربه‌فرد 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 ارائهٔ هشدارهای لازم برای استفاده‌کنندگان لیزر (با مشخص کردن خطرات مربوط به هر سطح تابش) به‌وسیلهٔ 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 برروی آن نصب شده باشد. باید یادآور شویم درصورتی‌که برای انجام کاری تغییری در سیستم لیزر داده شود، ممکن است طبقه‌بندی لیزر تغییر کند.

درحال‌حاضر طبقه‌بندی مهم‌تری نیز توسط کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیکال (International Electrotechnical Commission, IEC) صورت گرفته‌است که درحال‌حاضر به‌عنوان 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 (مشتمل 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/. میکروواط در طول‌موج‌های مرئی) و در شرایط معمول تابش مستقیم پرتوی آن‌ها حتی درحالتی‌که به‌علت 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

جدول۳: اثرات پایهٔ بیولوژیکی تابش لیزر

محدوده طول موج	چشم	پوست
UV-C (0.200–0.280 microns)	فوتوکراتینیز	اریتما/ سرطان 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 شبکیهٔ 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

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-16]

نیازی به انجام اقدامات کنترلی ندارند ولی درهنگام 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 لیزر ها ۴ میلی‌وات می‌باشد. این دسته از لیزرها طوری طراحی می‌شوند که در طول ۱۰۰۰ ثانیه تابش میزان دوزی از انرژی که تحویل می‌دهند از لیزر های کلاس I بیشتر نشود.

کلاسII: لیزرهای کم‌توان که در محدودهٔ 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 متمرکزکنندهٔ نور مانند عدسی دیده شود. بین لگوهای اخطاری که روی لیزرهای کلاس IIIA که شدت آن‌ها از میزان ۲/۵ mW/cm^2 تجاوز نمی‌کند (لوگوی احتیاط) و لیزرهای کلاس IIIA که شدت آن‌ها از میزان ۲/۵ mW/cm^2 (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 طبقهٔ ۳b برای چشم خطرناک هستند و نگاه‌کردن به پرتوی مستقیم آن‌ها یا انعکاسات آینه‌ای پرتوهای آن‌ها می‌توانند 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.

کلاسIV: لیزهای پرتوان (پیوسته: ۵۰۰ میلی‌وات، پالسی J/cm^2 ۱۰-۲ یا حد آستانهٔ 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 پراکندهٔ پرتوی آن‌ها برای چشم خطر جدی 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 نکتهٔ ذیل توجه نمود:

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

۲. تعیین کلاس لیزرها، یک مشخصهٔ 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 گوشهٔ پایین سمت چپ لوگوی سیستم دید.

خطرات غیرتابشی باریکهٔ لیزر

خطرات متفرقهٔ کار با لیزر به‌طور خلاصه عبارت‌انداز 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 تغذیهٔ ولتاژ الکتریکی

تقریباً همهٔ حوادث جانی و جدی لیزرها به‌وسیلهٔ منبع تغذیهٔ 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 تغذیهٔ یک لیزر CO_2 داری قابلیت سی‌هزار ولت و ۴۰۰ آمپر باشد. به‌همین‌دلیل 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 کلیهٔ نکات ایمنی توصیه‌شده برای منابع تغذیهٔ 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، درصورت برخورد اتفاقی اشعهٔ لیزر با مواد قابل اشتعال، آتش‌سوزی روی می‌دهد. لذا باید مواد اشتعال‌زا از محیط کار دور شوند یا دارای پوشش‌های محافظ باشند چون حتی

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-16]

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 به‌همین‌دلیل 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 عبارت‌انداز: خطر تماس پوست با خنک‌کنندهٔ برودتی (بخصوص در لیزرهای پرتوان) و سوختگی و نبز خطر ناشی از تابش انحرافی لیزر به‌دلیل خرابی در سیستم اپتیکی و هدایت‌کننده.

اقدامات کنترلی و ایمنی لیزر

ـ کنترل فنی مهندسی: این اقدامات میزان مواجههٔ افراد را محدود و به‌طور مؤثری ایرادیانس را کاهش می‌دهند که شامل:

a. محیط محافظ: قرارگیری 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 علایم 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.علایم هشداردهنده (جدول ۴)

-کنترل‌های مدیریتی: که توسط مسئول ایمنی لیزر (LSO [2]) ادارهٔ ایمنی لیزر تعیین می‌شود. برای کار با هرنوع لیزر باید دستورالعمل وجود داشته باشد. این دستورالعمل باید در دسترس شخص مسئول و مسئول فیزیک بهداشت باشد ونیز 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

جدول۴: علایم 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)

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-16]

لیزری و جلوگیری از استفادهٔ تلفن همراه در محیط به‌کارگیری لیزر.

*لیزر در محیطی مشخص و معین به‌کار گرفته شود.

*ورود بـه محیـط لیزر باید کامـلاً قابل کنتـرل و دارای تمامی علایم هشداردهنده باشد.

*آگاهی و آشـنایی با اسـتاندارد و راهنمایی ایمنـی لیزر بخصوص در زمینهٔ کلاس‌های لیزر.

* ارائهٔ رونوشـتی از اقلام کنترلی و دستورالعمل‌های ایمنی به مسئولان امور ایمنی و آگاه‌کردن آن‌ها از هرگونه تغییر.

*قبـل از فعالیت همهٔ افراد از خطرات بالقوهٔ لیزر آگاه شـوند و درمورد احتیاط کار با لیزرها هشدار داده شود.

- حفاظـت فـردی: لباس محافظ بـرای افرادی که مسـتقیماً در معرض تابش دائمی تابش فرابنفش گسیل‌شـده از لیزرهای اگزایمر مورد نیاز است. این لباس‌ها درمواردی از تابش با سـطح توان یا دانسـیتهٔ انرژی بالا طوری تهیه و اسـتفاده می‌شود که مقادیر تابش رسیده به پوست کمتر از ماکزیمم سـطح مجاز تابش (MPE) برای بافت پوسـت باشد. برای محافظت پوست علاوه بر دسـتکش و لباس کار مناسـب اسـتفاده از کرم‌های ضد آفتاب نیز مفید اسـت .شـیلد صورت در موارد کار با لیزر توصیه می‌شود این شیلدها یـا حفاظ‌های بخصوص بـرای بازتاب‌های قوی و پرتوهای مسـتقیم توصیه شـده اسـت. برای لیزرهای کلاس IV جنـس لباس‌ها بایسـتی مقاوم در برابر آتش‌سـوزی باشـد. مثلاً لباس‌های پشـم یا ابریشـمی در حین کار با اشـعهٔ مرئی و مادون قرمز لیـزر در جاهایی‌که میزان ایرادیانس پرتو بیش از ۲ w/cm^2 اسـت، استفاده شود. زمانی‌که برای حفاظت از چشم‌ها از عینک حفاظتی استفاده می‌شود باید توجه داشت که عینک براساس نوع طول موج خاص لیزر انتخاب شـود تا به‌خوبی از چشـم محافظت کند. استفاده از یک عینک ممکن است برای چند طول موج دیگر محافظ خوبی به‌حساب نیاید. نـوع عینک براسـاس حداکثر تابش مجاز، حداکثر شـدت پرتو و طول موج خروجی لیزر انتخاب شـود. باید مدت‌زمانی که عینک در برابر شـدت 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 باشـند در غیر این صورت سریع‌تر کارآیی خود را از دست می‌دهند.

- حفاظـت محیطی: روشـنایی محیـط کار تا حد ممکـن افزایش یابد تا مردمک چشم تنگ‌تر شود. به‌علاوه دیوارهای اتاق مورد استفاده برای لیزرها نباید از مواد منعکس‌کنندهٔ نور باشند. وجود علایم هشداردهنده برای وجود لیزر الزامی اسـت. اسـتقرار و به‌کارگیری لیزر در محلی مسقف و محفوظ و پوشاندن کامل سطح پنجرهٔ آن مکان و وجود تجهیزات اطفاء حریق برای مهار آتش‌سوزی‌های احتمالی باید مورد توجه قرار گیرد. همهٔ سیم‌ها و شیشهٔ روی لیزر بایستی با یک محافظی جهت جلوگیری از احتراق پوشانده شوند.

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-16]

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.umc.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.

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-16]