



انجمن حفاظت در برابر اشعه ایران

مقاله پژوهشی



مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۸، شماره ۲، ویژه‌نامه پرتوهای غیر یون‌ساز، ۱۳۹۸، صفحه ۱۷-۲۰

پنجمین کنفرانس ملی سنجش و ایمنی پرتوهای یون‌ساز و غیر یون‌ساز (مهرماه ۱۳۹۷)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۰۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۰۱

خطرات نور لیزر برای کادر پروازی

شهریار ابوالحسینی*، فاطمه ویسی و زهره رجبی

پژوهشکده فوتونیک و فناوری کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

*تهران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده فوتونیک و فناوری کوانتومی، کدپستی: ۱۴۳۹۹-۵۱۱۱۳

پست الکترونیکی: sabolhosseini@aeoi.org.ir

چکیده

پرتو نور لیزر می‌تواند چنان شدتی ایجاد کند که حتی در فاصله بیش از ده کیلومتر، آسیب دائمی به بافت انسان، به ویژه شبکه چشم، وارد آید. در شدت‌های پایین‌تر، پرتوهای لیزر می‌توانند بدون ایجاد آسیب فیزیکی بر روی چشم، روی عملکرد بصری به طور جدی تاثیر گذاشته و آسیب‌های گذرا داشته باشند و یا باعث ایجاد حواس‌پرتی و از دست دادن تمرکز گردد. روشنایی لیزر می‌تواند عامل منحرف‌کننده، ایجاد بی‌نظمی و یا باعث ناراحتی برای خلبان باشد که موجب ایجاد وضعیت بالقوه خطرناک در مراحل بحرانی پرواز می‌شود. لذا باید برای کنترل ترافیک هوایی، اپراتورهای فرودگاه و اپراتورهای نشانگر لیزری مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژگان: خطرات لیزر، پرتوگیری، فضای باز، حدود پرتوی.

۱. مقدمه

ایجاد کند که از فاصله حدود ده کیلومتر آسیب دائمی به بافت انسان مانند شبکه چشم وارد شود. در شدت‌های پایین‌تر، نور لیزر می‌تواند بدون ایجاد آسیب فیزیکی روی عملکرد بصری چشم به طور جدی تاثیر بگذارد.

۲. طبقه‌بندی لیزرها

لیزرها بر اساس احتمال آسیب‌رسانی آن‌ها، طبقه‌بندی می‌شوند. لیزرهایی که طبقه آن‌ها بالاتر است، خطرناک‌ترند. هدف از طبقه‌بندی لیزرها بر اساس خطرات لیزر تهیه و ارائه هشدارهای لازم برای استفاده‌کننده‌گان لیزر به‌وسیله

توسعه لیزر و کاربردهای فناوری لیزر به عنوان یکی از مهم‌ترین مشارکت‌های علمی قرن بیستم به شمار می‌رود. در حال حاضر، لیزرها تقریباً در همه جا، از سوپرمارکت‌ها و مدارس به ماهواره‌ها و دفاتر راه یافته است. اگر از لیزر به روش صحیح استفاده نشود، انرژی باریکه لیزر خطر زیستی قابل توجهی را به همراه خواهد داشت.

در نتیجه حتی نشان‌گرهای لیزری که جزء بی‌خطرترین دستگاه‌های لیزر هستند به خطر جدی تبدیل شده و با اثرات مستقیم زیستی قادر به ایجاد اختلال در عملکردها و ایجاد شرایط خطرناک خواهند بود. باریکه نور لیزر می‌تواند شدتی

باشد و یا لیزرهای تپی که انرژی تابشی آن‌ها در مدت ۰/۲۵ ثانیه از ۰/۱۲۵ ژول بیشتر باشد. این لیزرها بسیار خطرناکند. پرتو مستقیم آن‌ها یا انعکاسات آینه‌ای و حتی انعکاسات پراکنده پرتو آن‌ها برای چشم خطر جدی محسوب می‌شود. پرتوهای این لیزرها می‌توانند به پوست نیز آسیب برسانند و یا سبب وقوع آتش‌سوزی شوند. دسترسی به لیزرهای خطرناک کلاس III B و IV باید محدود باشد، درحالی‌که برخی از نشانگرهای لیزری در این کلاس به راحتی قابل تهیه می‌باشند.

۳. خطرات نور لیزر

در بین عموم مردم و خصوصاً قشر نوجوان، بیشتر خطرات و حوادث لیزری مربوط به افزایش دسترسی و کاهش هزینه اشاره‌گرهای لیزری سبز است. انسان نسبت به نور سبز بسیار حساس است، زیرا به نظر می‌رسد حدود ۳۵ برابر روشن‌تر از لیزرهای قرمز معادل هستند. این لیزرهای سبز قادرند تا خطرات خاصی را برای خلبانان نیز بوجود آورند.

نشانگر لیزری قرمز که معمولاً در کلاس‌های درس و همایش‌ها استفاده می‌شود، دارای قدرت کمتر از یک میلی‌وات هستند. به طور معمول دارای قدرت کافی برای ایجاد آسیب فیزیکی واقعی نیستند ولی در عمل و استفاده از آن‌ها هنوز به مراقبت نیاز دارند. اشاره‌گر لیزری سبز با قدرت حداکثر ۵ میلی‌وات در دسترس است و به عنوان خطرناک‌تر طبقه‌بندی می‌شوند.

حداکثر حساسیت چشم به نور مرئی در اطراف طول موج لیزر سبز است و چشم نور لیزر سبز را ۳۰ برابر روشن‌تر از لیزر قرمز با همان قدرت حس می‌کند. قرار گرفتن در معرض مستقیم چشم به پرتو لیزر سبز می‌تواند منجر به نقص موقت شود.

شدت و مدت اختلال در بینایی بسته به شدت و طول موج نور، حالت انطباق نور و حتی رنگ پوست انسان (رنگ چشم)

دستورالعمل‌ها و علامت‌های مناسب می‌باشد. این طبقه‌بندی پایه‌ای برای تعریف اقدامات کنترلی و نظارت‌های پزشکی خواهد بود. لیزرها بر اساس میزان آسیب‌رسانی طبقه‌بندی و به پنج دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند (بالاترین کلاس، بیشترین خطر): کلاس I، کلاس II، کلاس III A، کلاس III B و کلاس IV. لیزرهای کلاس I در شرایط عادی کار نمی‌توانند به چشم آسیب برسانند، این لیزرها معمولاً لیزرهای بسته هستند و پرتو آن‌ها به محیط ارسال نمی‌شود. قابل ذکر است که ممکن است درون یک لیزر کلاس I، لیزر خطرناکتری وجود داشته باشد که توانایی آسیب‌رسانی دارد. لذا با تغییر ساختمان فیزیکی لیزر، ممکن است کلاس آن تغییر کند.

کلاس II لیزرهای کم‌توان مرئی که توان آن‌ها از لیزرهای کلاس I بیشتر است. ولی توان تابشی آن‌ها از ۱ میلی‌وات تجاوز نمی‌کند. (کمتر یا مساوی ۱ میلی‌وات) این لیزرها به چشم آسیب نمی‌رسانند مگر آنکه کسی عمداً به آن‌ها خیره شود. عکس‌العمل طبیعی چشم به نور مرئی و پلک زدن، چشم را در برابر نور لحظه‌ای این لیزرها حفاظت می‌کند. لیزرهای کلاس III A لیزرهایی هستند که توان نور خروجی آن‌ها بین ۱ میلی‌وات تا ۵ 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.

لیزرهای کلاس III B، لیزرهای پیوسته‌ای که توان پرتو خروجی آن‌ها بین ۵ و ۵۰۰ میلی‌وات است یا لیزرهای تپی که انرژی آن‌ها در مدت ۰/۲۵ ثانیه کمتر از ۰/۱۲۵ ژول است.

لیزرهای کلاس IV برای چشم خطرناک هستند و نگاه کردن به پرتو مستقیم آن‌ها یا انعکاسات آینه‌ای پرتوهای آن‌ها می‌تواند به چشم آسیب جدی وارد کند. برخی از لیزرهای III B که به عنوان اشاره‌گر لیزری استفاده می‌شوند به راحتی در دسترس عموم قرار دارد. لیزرهای کلاس IV، لیزرهای پیوسته‌ای که توان نور خروجی آن‌ها بیشتر از ۵۰۰ میلی‌وات

دارند. منطقه لیزر آزاد^۲ (LFZED): در این منطقه، شدت نور لیزر محدود به سطح است و احتمال ایجاد اختلال بصری بسیار ناچیز است. در این ناحیه شدت نور لیزر نباید از 50 nW/cm^2 تجاوز کند.

منطقه بحرانی^۳ (CZED): در این منطقه شدت تابش نباید از $5 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ تجاوز کند. این شدت قادر به ایجاد اثرات خیره‌کننده است. این تابش سبب ایجاد سطح روشنایی کافی برای ایجاد کوری ناشی از نور زیاد می‌شود. منطقه حساس^۴ (SZED): در این ناحیه، شدت تابش نباید بیش از $100 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ باشد. سطح روشنایی تولید شده ممکن است باعث کوری موقت یا اثرات پس‌زمینه و اختلال دید شود.

۶. عامل تصحیح بصری

چشم انسان دارای حساسیت متفاوتی نسبت به رنگ‌های خاص است. ما نور سبز را بسیار روشن‌تر از مقدار معادل نور قرمز یا آبی می‌بینیم. این حساسیت توسط پارامتر VCF در محاسبات لحاظ می‌شود. در جدول ۱ این پارامتر برای رنگ‌های متداول آمده است.

جدول (۱): عامل تصحیح بصری برای رنگ‌های متداول.

پارامتر VCF	طول موج (نانومتر)
۰٫۸۸۰۲	سبز - ۵۳۲
۰٫۲۳۸۲	قرمز - ۶۳۳
۰٫۰۳۰۵	آبی - ۴۴۵

در شکل ۱ مقدار پارامتر VCF برای سایر طول موج‌های نور مرئی نشان داده شده است.

به میزان قابل توجهی متفاوت است. اثرات مواجهه با پرتو لیزر عبارتند از:

- حواس پرتی: اثر خیره‌کننده روی چشم می‌تواند باعث یک حواس پرتی بزرگ باشد، به خصوص در موقعیت‌های کار اوج و فرود هواپیما.
- نقص تصویری موقت: جلوه‌های بصری ناخوشایندی که عبارتند از: اختلال موقت در دید ناشی از نور زیاد در یک چشم‌انداز؛ عدم توانایی دید ناشی از رسیدن نور زیاد به چشم؛ ایجاد تصویر که در زمینه بصری پس از قرارگرفتن در معرض نور روشن باقی می‌ماند.
- آسیب چشم: آسیب موقت یا دائمی چشم به علت قرار گرفتن در معرض نور لیزر. به طور معمول نتیجه نوردهی مستقیم با نور لیزر طولانی یا با قدرت بالا است.

روشنایی نور لیزر در هواپیما می‌تواند: منحرف‌کننده، ایجاد بی‌نظمی و ناراحتی برای خلبان، ایجاد وضعیت بالقوه خطرناک در مراحل بحرانی پرواز باشد.

۴. بیشینه تابش مجاز

اگر مقدار شدت نور لیزر بیش از حد تعیین شده و استاندارد باشد، قادر به ایجاد آسیب به بافت می‌باشد که در کاربردهای لیزر این حد تحت عنوان «بیشینه تابش مجاز»^۱ بیان می‌شود. از این رو اگر مقدار شدت نور لیزر که به خلبان می‌رسد از این مقدار بیشتر باشد، باعث ایجاد خطر برای وی و نهایتاً خطری جدی برای مسافران هواپیما محسوب خواهد شد.

۵. ناحیه‌های حفاظت شده

در استفاده از لیزر در فضای آزاد، باید ناحیه‌های حفاظت شده تعریف شوند که فقط به پرتوهای قابل مشاهده لیزر اشاره

² Laser Free Zone Exposure Distance

³ Critical Zone Exposure Distance

⁴ Sensitive Zone Exposure Distance

¹ Maximum Permissible Emission

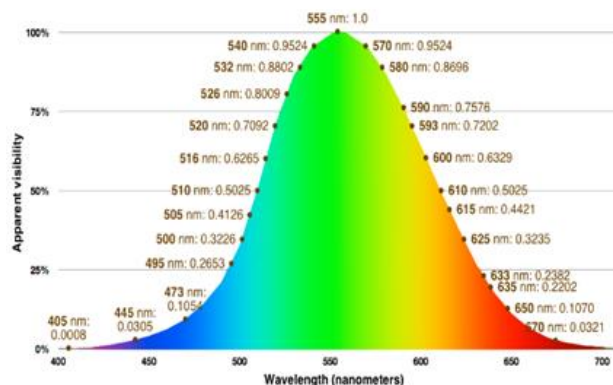
در بازار دارای توانی حدود ۱ وات و واگرایی حدود ۲ میلی رادیان هستند. این نواحی برای طول موج‌های سبز، قرمز و آبی محاسبه و در جدول ۲ آورده شده‌اند.

جدول (۲): طول ناحیه بر حسب متر.

ناحیه	قرمز	سبز	آبی
NOHD	۱۱۰٫۷۵	۱۱۰٫۷۵	۱۱۰٫۷۵
SZED	۲۷۲٫۴۲	۵۲۳٫۶۷	۹۷٫۴۸
CZED	۱۲۱۷٫۷۲	۲۳۴۰٫۸۰	۴۳۵٫۷۴
LFZED	۱۲۱۷۷٫۲	۲۳۴۰۸٫۰	۴۳۵۷٫۴

۸. نتیجه گیری

با اطلاعات بدست آمده مشاهده می‌شود که نشانگر لیزری رنگ سبز تا فاصله حدود ۲۳ کیلومتر قادر به ایجاد خطر است. لذا استفاده از اینگونه وسایل که در دسترس عموم قرار دارد باید محدود و تحت قوانین و ضوابط مشخص قرار گیرند. اداره هواپیمایی کشوری بایستی همه اقدامات حفاظتی مورد نیاز برای جلوگیری از بروز اینگونه حوادث را مد نظر قرار دهد.



شکل (۱): مقدار VCF برای طول موج‌های نور مرئی.

۷. محاسبات

جهت محاسبه و تعیین نواحی حفاظت شده از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$NOHD = \frac{9.906}{\phi} \sqrt{0.5 \times P} \quad (1)$$

$$SZED = \frac{9.906}{\phi} \sqrt{12.7 \times P \times VCF} \quad (2)$$

$$CZED = SZED \times 4.47 \quad (3)$$

$$LFZED = CZED \times 10 \quad (4)$$

که در آن ϕ بیانگر واگرایی بر حسب میلی رادیان و P بیانگر توان لیزر بر حسب میلی وات است. نشانگرهای لیزر موجود

۹. مراجع

- [۱] هرمان، سمیر؛ ترجمه ساناز حریری تبریزی؛ «مقدمه‌ای بر فیزیک بهداشت» انتشارات دانشگاه شهید بهشتی؛ فصل ۱۴.
- [۲] نیوشا، سرور؛ «دوزیمتری بالینی لیزرهای کم توان» مرکز تحقیقات علوم اعصاب شفاء.

- [۳] ماکوف، نایمز؛ ترجمه دکتر پرویز پروین؛ «برهمکنش لیزر بافت» انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

- [۴] RASG-MID Safety Advisory -12, March 2017.