

## ارزیابی خطرات پرتوهای نوری در کاربردهای عمومی آن از دیدگاه حفاظت در برابر اشعه

مجید زمانی<sup>۱\*</sup>، دلنواز فرودین<sup>۱</sup>، محمدرضا کاردان<sup>۲</sup> و نادر طالاری<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> امور حفاظت در برابر اشعه کشور، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران

<sup>۲</sup> پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران

\* تهران، امیرآباد، انتهای خیابان کارگر شمالی، سازمان انرژی اتمی ایران، کد پستی: ۱۴۱۵۵-۴۴۹۴

پست الکترونیکی: mjzamani@aeoi.org.ir

### چکیده

امروزه بسیاری از تجهیزات و دستگاه‌های با کاربرد عمومی به منظور افزایش دقت، سهولت در کار و نیز کارایی بالاتر، مجهز به منابع مولد پرتوهای نوری، شامل پرتوهای فرابنفش، مرئی و فروسرخ شده‌اند. در برخی موارد، آثار بیولوژیکی به این گونه کاربردها نسبت داده شده است که مبنای علمی ثابت شده‌ای ندارند. از سوی دیگر، با توجه به کاربردهای عمومی این دستگاه‌ها و احتمال بروز خطرات بیولوژیکی، به‌خصوص بر روی پوست و چشم کاربران، لازم است میزان شدت مؤثر پرتوهای نوری و نیز نحوهٔ صحیح کاربرد آن‌ها بررسی گردد. در این مقاله، تعداد ۱۰ نوع دستگاه مختلف مولد پرتو با کاربرد عمومی (شامل ۴۵ عدد نمونه کالا شامل ۳۴ مارک و مدل مختلف) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد در صورتی که این دستگاه‌ها به روش صحیح مورد استفاده قرار گیرند، شدت پرتوهایی که به چشم و پوست کاربران می‌رسد، زیر حد استاندارد ملی ایران است، لیکن در صورت عدم آگاهی از تابش پرتو به علت برچسب‌زنی ناکافی و یا استفادهٔ نادرست، خطراتی کاربران را تهدید می‌کند، لذا در نهایت راهکارهایی به منظور کاهش این خطرات پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌گان: پرتوهای ماوراء بنفش، فروسرخ، مرئی، کالاهای با کاربرد عام، استاندارد ملی ایران.

### ۱. مقدمه

یک یا چند منبع مولد پرتوهای نوری و یا منبع پرتوهای لیزری وجود دارد. این منابع معمولاً به صورت لامپ‌هایی با توان‌های مختلف تعبیه شده‌اند که با توجه به نوع مادهٔ قابل تحریک، امکان تابش پرتوهایی در بیناب گسترده پرتوهای نوری را دارند؛ برای مثال، تحریک بخار جیوه در اثر اعمال اختلاف پتانسیل به دو سر لامپ، با توجه به نوع پوشش داخلی لامپ، باعث تابش پرتوهای ماوراء بنفش در ناحیهٔ طول موج UVA (۳۱۵ الی ۴۰۰ نانومتر)، UVB (۲۸۰ الی ۳۱۵ نانومتر)، یا UVC (۱۰۰ الی ۲۸۰ نانومتر) می‌شود.

امروزه بسیاری از دستگاه‌های با کاربرد عمومی، با هدف بالا بردن دقت عملکرد و یا سهولت در نحوهٔ استفاده از آن‌ها، مجهز به برخی منابع مولد پرتوهای نوری شامل پرتوهای ماوراء بنفش (UV) در ناحیهٔ طول موج ۱۰۰ الی ۴۰۰ نانومتر، نور مرئی (VS) در ناحیهٔ طول موج ۴۰۰ الی ۷۸۰ نانومتر، مادون قرمز (IR) در ناحیهٔ طول موج ۷۸۰ نانومتر الی ۱۰۰۰ میکرومتر و یا پرتوهای لیزر (LASER) شده‌اند. اغلب افراد جامعه، روزانه با نمونه‌هایی از این دستگاه‌ها در تماس‌اند. این دستگاه‌ها در اندازه‌ها، شکل‌ها و مدل‌های متنوعی در دسترس‌اند. در ساختار برخی از آن‌ها،

باعث سوختگی شبکیه شوند، از دیدگاه حفاظت در برابر اشعه از اهمیت خاصی برخوردارند [۳]؛ بنابراین باید استاندارد ملی ایران- پرتوهای غیر یونساز- حدود پرتوگیری در مورد همه آنها رعایت شوند [۴].

در این تحقیق، با هدف بررسی میزان پرتوهای نوری انتشار یافته توسط دستگاه‌های مولد پرتوهای نوری با کاربرد عمومی، تعداد ۴۵ دستگاه شامل ۱۰ نوع دستگاه، با ۳۴ مارک و مدل مختلف که عمدتاً از مبادی ورودی مجاز، وارد کشور شده و یا توسط سازندگان داخلی تولید شده‌اند، به صورت تصادفی نمونه‌گیری و مورد بررسی واقع شده‌اند. در ادامه کار، میزان تابش این دستگاه‌ها در فواصل مختلف و عمدتاً در محل قرارگیری کاربر هر دستگاه با حدود ذکر شده در «استاندارد ملی ایران» مقایسه شده است [۴].

## ۲. مواد و روش کار

در این بررسی، ابتدا جهت اطمینان از صحت نوع لامپ مورد آزمون، با استفاده از یک نمونه دستگاه بیناب- شدت سنج کالیبره شده، بیناب نور خروجی لامپ در فاصله ۵۰ سانتی‌متری از لامپ، اندازه‌گیری شده است.

در هر کالای با مصرف خاص، لازم است بیناب تابشی لامپ مورد استفاده، در ناحیه طول موج مناسب باشد؛ برای مثال، طیف نور لامپ‌های مورد استفاده جهت مصارف ضد عفونی، و لامپ‌های حشره‌کش، باید به ترتیب در ناحیه‌های UVC و UVA قرار گیرد. شکل (۱) طیف خروجی یک نمونه از لامپ‌های ضد عفونی‌کننده آب و یا هوا را در فاصله ۵۰ سانتی‌متری از لامپ نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، طول موج بیشینه تابش در ناحیه ۲۵۰ تا ۲۵۵ نانومتر است.

طیف نور خروجی لامپ‌های حشره‌کش برقی، در شکل (۲) آورده شده است. با توجه به اهمیت موقعیت و محل نصب دستگاه‌های حشره‌کش برقی، تغییرات شدت مؤثر پرتو ماوراء بنفش با فاصله افراد نسبت به دستگاه، در شکل (۳) آورده شده است.

برخی از این‌گونه دستگاه‌ها مانند دستگاه‌های ضد عفونی‌کننده اجسام، سطوح (نظیر مسواک، میز کار، حوله، ملحفه، کاشی و سرامیک و...)، دستگاه‌های تصفیه آب و یا هوا، فقط کاربرد بهداشتی و سلامتی دارند و از لامپ‌های UVC در آنها در جهت ضد عفونی کردن و یا میکروب‌زدایی استفاده می‌شود [۱].

در برخی دیگر از دستگاه‌ها از خاصیت فلورسانس پرتوهای ماوراء بنفش استفاده می‌شود؛ برای مثال، در دستگاه‌های تست اسکناس از این خاصیت برای تست واقعی بودن اسکناس‌ها، اوراق بهادار، چک‌ها و... استفاده می‌شود. روش کار در اینجا بدین صورت است که با تاباندن پرتوهای ماوراء بنفش به موادی که دارای خاصیت فلورسانس هستند، یا آغشته به یک ماده فلورسانس شده باشند، نور مرئی انتشار می‌یابد؛ بنابراین، معیار درستی نمونه به وسیله کاربر دستگاه قابل مشاهده خواهد بود.

کاربرد دیگر پرتو UV در دستگاه‌های حشره‌کش برقی می‌باشد. در این دستگاه‌ها با استفاده از پرتوهای UVA، حشرات جذب و سپس در اثر برق‌گرفتگی معدوم می‌شوند. در سال‌های اخیر، استفاده از لیزرها در محدوده طول موج‌های مرئی یا نامرئی گسترش یافته است. از جمله این دستگاه‌ها می‌توان به تجهیزات بارکدخوان، انواع نشانگرهای لیزری، تفنگ لیزری، تراز یاب لیزری، فاصله‌سنج لیزری، برس‌های لیزری، مچ‌بندهای لیزری و... اشاره کرد.

در کاربرد این‌گونه دستگاه‌ها، با توجه به زمان استفاده طولانی مدت از آنها، نگرانی عمده مربوط به امکان پرتوگیری کاربران در هنگام روشن بودن آنهاست. در مورد برخی از دستگاه‌ها مانند دستگاه‌های لیزری، حتی پرتوگیری‌های آنی از لیزرهای کم‌توان نیز می‌تواند خطرناک و مهم باشد. از سوی دیگر، پرتوهای ماوراء بنفش و مادون قرمز نیز می‌توانند بر روی پوست و چشم کاربران اثر نامطلوب بگذارند [۲]، به‌ویژه پرتوهایی که در ناحیه مربوط به مادون قرمز IR-A و ماوراء بنفش UVA قرار دارند، به سبب آنکه در طول موج‌های خیلی نزدیک به نور مرئی هستند، می‌توانند به شبکیه چشم برسند و

جدول (۱): مشخصات انواع دستگاه‌های مورد بررسی

ردیف	نام دستگاه	نوع پرتو	تعداد نمونه	تعداد مدل‌ها
۱	حشره‌کش برقی	UVA	۴	۳
۲	خشک‌کن لاک ناخن	UVA	۵	۴
۳	ضد عفونی کننده سطوح	UVC	۴	۳
۴	تشخیص اسکناس	UVA	۶	۵
۵	ضد عفونی کننده مسواک	UVC	۲	۲
۶	لامپ پرتو دهی پوست	UVB	۸	۵
۷	ضد عفونی کننده هوا	UVC	۳	۳
۸	ضد عفونی کننده آب	UVC	۴	۲
۹	برس، کلاه و مچ‌بند لیزری	LASER	۶	۵
۱۰	نشان‌گرها و تفنگ لیزری	LASER	۳	۲

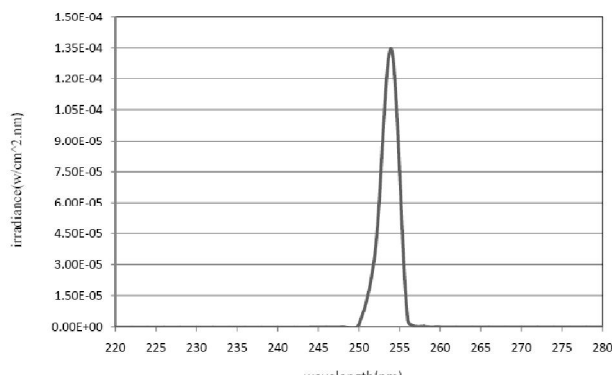
در ادامه تحقیق، با استفاده از یک نمونه دستگاه شدت سنج کالیبره شده، در شرایط استفاده معمولی هر دستگاه، شدت مؤثر ( $E_{eff}$ ) پرتوهای فرابنفش نمونه‌های غیر لیزری مورد بررسی، قرار گرفته است. در هر مورد، اندازه‌گیری در فاصله‌های مختلف از دستگاه مولد پرتو، در محل قرارگیری کاربر دستگاه و در حالت‌های مختلف کارکرد آن انجام شده است. کلیه نتایج به دست آمده در جدول (۳) آورده شده است.

در مورد دستگاه‌های مولد پرتو UV شدت مؤثر پرتو تابشی دستگاه در بازه طول موج مورد نظر با استفاده از رابطه (۱) و سپس حداکثر زمان پرتوگیری کاربران دستگاه مولد پرتو، با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شده است [۴].

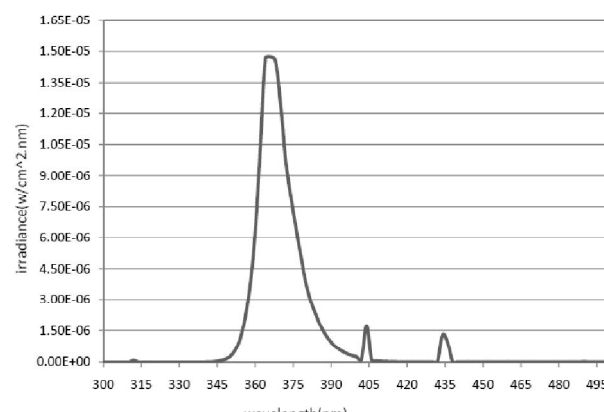
$$E_{eff} = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times \Delta_{\lambda} \quad (1)$$

$$E_{eff} \times t \leq 30 \frac{J}{m^2} \quad (2)$$

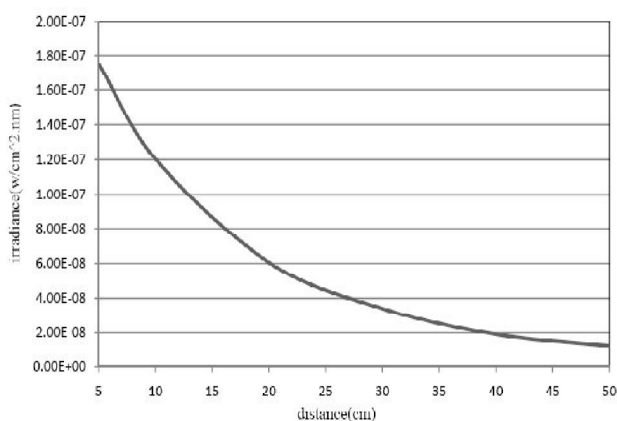
در روابط فوق،  $E_{\lambda}$  شدت نور تابشی در هر طول موج،  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$  به ترتیب برابر ۲۰۰ و ۴۰۰ نانومتر،  $S_{\lambda}$  ضریب نسبی تأثیر هر طول موج بر بدن و  $\Delta_{\lambda}$  فاصله دو طول موج متوالی است که شدت پرتو UV در آن‌ها اندازه‌گیری شده است. در اندازه‌گیری‌های انجام شده،  $\Delta_{\lambda}$  برابر با ۲ نانومتر بوده است و



شکل (۱): طیف نور خروجی نمونه لامپ ضد عفونی کننده



شکل (۲): طیف نور خروجی لامپ دستگاه حشره‌کش برقی



شکل (۳): نمودار تغییرات شدت مؤثر پرتوهای UVA ناشی از دستگاه حشره‌کش برقی در فاصله‌های مختلف از لامپ

سایر مشخصات دستگاه‌های انتخاب شده جهت بررسی، در جدول (۱) خلاصه شده است.

بسیار کم و در نتیجه، بیشینه مدت زمان مجاز پرتوگیری برای کاربران بسیار طولانی است، ولی نمونه‌هایی نیز وجود دارند که دارای این شرایط مطلوب نیستند، لذا استفاده از تجهیزات دارای استانداردهای بین‌المللی حائز اهمیت است.

- تمامی دستگاه‌های مولد پرتو لازم است دارای برچسب هشداردهنده و راهنمای کار با دستگاه به زبان فارسی باشند. در بیشتر موارد، عدم اطلاع کاربران دستگاه از وجود پرتو و احتمال آسیب رساندن آن، باعث پرتوگیری ناآگاهانه در افراد به‌ویژه کودکان می‌شود. نتایج اندازه‌گیری مربوط به دستگاه‌های ضد عفونی‌کننده مسواک در شرایط متفاوت دستگاه (هنگامی که پوشش دستگاه بسته، باز و نیمه باز باشد) نشان می‌دهد، در صورتی که شخص چشم خود را در محل نزدیک به لامپ قرار ندهد و یا پوشش دستگاه بسته باشد، پرتوگیری از حد استاندارد بسیار کمتر است، لذا دستگاه باید به گونه طراحی شده باشد که هنگام باز بودن در یا پوشش دستگاه، لامپ، خاموش شده و تنها در حالتی که درب دستگاه بسته است، شروع به تابش کند. تنها تجهیزات دارای استاندارد جهانی، چنین ویژگی‌هایی را دارند.

جدول (۳): طبقه‌بندی دستگاه‌های لیزری بر اساس توان خروجی

نام دستگاه	ماکزیمم توان خروجی	کلاس لیزر
نشان‌گرها لیزری	۲mw	۳A
	۶/۴mw	۳B
	۰/۶۲ mw	۲
برس، کلاه و موبر لیزری	۹۰۰ mw	۴
	۶۷۰mw	۴
مچ‌بند لیزری	۳۵۵mw	۳B
	۳/۶mw	۳A
	۴mw	۳A
نورپردازی لیزری (Laser show)	۵mw	۳A
	۵۰mw	۳B
	۵۰mw	۳B
	۵۰mw	۳B

مقادیر  $S_{\lambda}$  از استاندارد ملی ایران استخراج شده است.  $E_{eff}$ ، شدت یا چگالی مؤثر پرتو در محل قرار گرفتن شخصی که پرتوگیری می‌کند و بر حسب وات بر مترمربع،  $t$  مدت زمان پرتوگیری و بر حسب ثانیه است. در رابطه ۲، حد پرتوهای ماوراء بنفش مؤثر دریافتی در هر شبانه‌روز، ۳۰ ژول بر مترمربع است [۴].

در مورد دستگاه‌های لیزری، کلاس یا طبقه لیزر تعیین می‌شود. برای تعیین کلاس لیزر، با استفاده از یک دستگاه اندازه‌گیری کالیبره، بیشینه توان خروجی دستگاه در نزدیکی دهانه لیزر و روی باریکه لیزر، اندازه‌گیری می‌شود و با توجه به نتایج به دست آمده و جدول (۲) کلاس لیزر تعیین می‌گردد.

جدول (۲): طبقه‌بندی لیزر بر اساس بیشینه توان خروجی

کلاس لیزر	حداکثر توان خروجی روی باریکه لیزر
۱	صفر (اگر لیزر بسته باشد)
۲	کمتر یا مساوی ۱ میلی‌وات
۳A	۱ الی ۵ میلی‌وات
۳B	۵ الی ۵۰۰ میلی‌وات
۴	بیشتر از ۵۰۰ میلی‌وات

لازم به ذکر است کلیه دستگاه‌های مولد پرتوهای لیزری کلاس ۳B و ۴ تابع مقررات و ضوابط خاصی می‌باشند. استفاده از این لیزرها توسط عموم مردم مجاز نیست [۵].

### ۳. نتایج

در جدول (۳)، کلاس لیزری دستگاه‌ها تعیین شده است. در جدول (۴)، مقادیر متوسط و بیشینه شدت مؤثر پرتوهای UV و نیز بیشینه مدت زمان مجاز پرتوگیری در فاصله‌های مختلف از دستگاه‌ها آورده شده است. میزان شدت مؤثر پرتو، بر حسب وات بر سانتی‌متر مربع و زمان بر حسب دقیقه یا ساعت بیان شده است. برای زمان‌های مجاز بیش از ۲۴ ساعت می‌توان همواره در برابر لامپ در آن فاصله قرار گرفت، بدون آنکه پرتوگیری از حد مجاز بیشتر شود.

### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

با بررسی یافته‌های فوق نتایج زیر به دست می‌آید:

- در مورد دستگاه‌های با کاربرد عام، عموماً شدت نور

جدول (۴): میانگین و بیشینه شدت مؤثر پرتو و بیشینه مدت زمان مجاز پرتوگیری کاربران برای انواع دستگاه‌های مولد پرتوهای غیر لیزری (توان بر حسب وات و فاصله بر حسب سانتی‌متر است)

نام دستگاه	توان لامپ	فاصله	متوسط شدت مؤثر پرتو	حداکثر شدت مؤثر پرتو	بیشینه زمان مجاز
حشره کش برقی	۱۵	۱۰۰	$0.95 \times 10^{-8}$	$1.29 \times 10^{-8}$	۶۴h
	۲۰	۱۰۰	$0.71 \times 10^{-8}$	$0.82 \times 10^{-8}$	۱۰۱h
	۴۰	۱۰۰	$0.58 \times 10^{-8}$	$0.61 \times 10^{-8}$	۱۳۶h
اسکناس تشخیص	۸	۱۰	$7.1 \times 10^{-7}$	$8 \times 10^{-7}$	۱h
خشک کن لاک ناخن	۳۶	محل دست	$1.3 \times 10^{-6}$	$7.3 \times 10^{-6}$	۷min
	۳۶	محل چشم	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-8}$	۸۳h
	۵۴	محل دست	$4.05 \times 10^{-6}$	$5.8 \times 10^{-6}$	۹min
ضد عفونی مسواک	۶	روی محافظ	$4.05 \times 10^{-9}$	$5.85 \times 10^{-9}$	۱۴۲h
	۳	روی محافظ	$5.43 \times 10^{-7}$	$9.23 \times 10^{-7}$	۱h
تصفیه آب	۳۰	خروج ی هوا	۰	۰	نامحدود
تصفیه هوا	۳۰	خروج ی هوا	۰	۰	نامحدود
ضد عفونی سطوح	۶	۵۰	$8.21 \times 10^{-6}$	$1.63 \times 10^{-5}$	۳min
	۶	۳۰	$9.94 \times 10^{-6}$	$5.04 \times 10^{-5}$	min\
پرتوهای یونیزان	۲۰	۴۰	$1.74 \times 10^{-6}$	$7.05 \times 10^{-6}$	۷ min

چشم شخص در فاصله کمتر از ۳۰ سانتی‌متری، پرتوگیری شخص بیشتر از حد نخواهد بود. در این مورد لازم است از تجهیزات استاندارد استفاده شود.

- بررسی نتایج اندازه‌گیری پرتوهای اطراف دستگاه‌های خشک‌کن لاک ناخن نشان می‌دهد که لازم است از نگاه کردن مستقیم به لامپ‌ها پرهیز شود. مدت زمان مجاز، بستگی به ویژگی‌های دستگاه دارد و نمی‌توان مقدار ثابتی برای آن مشخص کرد.

- با توجه به توان نسبتاً بالای لامپ‌های دستگاه ضد عفونی‌کننده سطوح، لازم است در هنگام روشن کردن این دستگاه‌ها، از نگاه کردن مستقیم به نور لامپ در مدت زمان طولانی خودداری شود. نور این دستگاه‌ها می‌تواند به چشم آسیب وارد کند.

- دستگاه تصفیه‌کننده هوا و آب معمولاً به گونه‌ای طراحی و نصب می‌شوند که لامپ‌ها مستقیماً توسط کاربران قابل دیدن نیستند. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد.

شدت پرتوهای اطراف دستگاه ضد عفونی‌کننده آب بسیار ناچیز و در حد صفر است؛ بنابراین تا هنگامی که دستگاه بسته باشد، خطری برای کاربران وجود ندارد.

- با توجه به مقررات موجود، کاربران لیزرهای کلاس ۳B و ۴ ملزم به رعایت مقررات و ضوابط خاصی هستند [۵] و لیزر با کاربرد عام محسوب نمی‌شوند. در مورد لیزرهای کلاس‌های ۱ و ۲ و ۳A، لازم است از نگاه کردن مستقیم به باریکه لیزری اجتناب شود.

- توصیه می‌شود تجهیزات مولد پرتو، تنها در شرایطی مورد استفاده قرار گیرند که نقش مؤثر و مفیدی در بهبود شرایط محیط زندگی و یا کار ایجاد کنند و برای فرد آسیب جدی به همراه نداشته باشند.

- در مورد دستگاه تست اسکناس، با توجه به اینکه معمولاً مدت زمان استفاده کوتاه است، حتی در صورت قرارگیری

## مراجع

- [1] Richard L.Gutierrez,Keith N, and others,” Ultra Violet: a new wave of ternary disinfection”, Carollo engineers, walnut Greek. CA, 2005.pp.102-125.
- [2] American Academy of Dermatology(AAD), Home page on the world wide web : <http://www.aad.org>
- [3] The Applied Biosafety, 11(4) pp.228-230© ABSA 2006,”Position paper on the use of UV light in Biological safety cabinets, the Biological effects on eyes and skin, and 2006.
- [4] سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران، پرتوهای غیریونساز، حدود پرتوگیری، کد استاندارد ۸۵۶۷، انتشار ۱۳۸۱، ([www.isiri.ir](http://www.isiri.ir))
- [5] ضوابط دریافت مجوز کار با لیزرهای پزشکی کلاس B۳ و ۴، سازمان انرژی اتمی ایران و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، کد INRA-RP-RE-RO-10/58-0-ESF.1390، ۱۳۹۰، ([www.aeoi.org.ir](http://www.aeoi.org.ir))