جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی

راهنمای

بخش پرتوهای کتاب حدود مجاز مواجهه

معاونت بهداشت

مرکز سلامت محیط و کار

اعضاء کمیته بازنگری و تدوین راهنمای بخش پرتوهای کتاب حدود مجاز شغلی

نام و نام خانوادگی	سمت
آقای دکتر احمد جنیدی جعفری	رییس مرکز سلامت محیط و کار
خانم مهندس فریده سیف آقایی	کارشناس مسئول بهداشت حرفه ای
خانم دکتر فاطمه صادقی گلوردی	رئیس گروه عوامل شیمیایی و سموم
آقای مهندس مهدی علی گل	کارشناس ارشد گروه عوامل شیمیایی و سموم
آقای دکتر یحیی خسروی	عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی البرز
خانم مهندس فاضله کتایون مدیری	رئیس گروه عوامل فیزیکی و ارگونومی

فهرست مطالب

پیش گفتار ۳

مقدمه ۴

حدود پرتوگیری پرتوهای غیریونساز ۵

۱- هدف ۵

۲ دامنه کاربرد ۵

۳ اصطلاحات و تعاریف ٦

٤ طبقه بندی انواع پرتوهای غیر یونساز و حدود پرتوگیری ۱۰

٤-۱ حدود کمیت های پایه – پرتوگیری شغلی و مردم ۱۱

٤-۲ سطوح مرجع (حدود کمیت های کاربردی) برای پرتوگیری شغلی و مردم ۱۳

٤-۳ حدود جریان های تماسی و القایی شغلی و مردم ۱۷

٤-٤ پرتوگیری همزمان از میدان های الکترومغناطیسی با چند فرکانس مختلف ۱۸

٤-٥ حد میدان مغناطیسی مستقیم (DC) برای مردم و شاغلین ۲۱

٤-٦ حدود پرتوگیری با پرتوهای فرابنفش (منابع غیرلیزری) ۲۲

٤-۷ حدود پرتوگیری با پرتوهای مرئی و فروسرخ (منابع غیر لیزری) ۲٥

۴-۷-۱ حد پرتوگیری براساس تأثیر گرمایی نور بر شبکیه (۳۸۰ nm تا ۱۴۰۰ nm) ۲۵

۴-۷-۲ پرتوگیری شبکیه با منبع فروسرخ دارای نور مرئی ضعیف ۲۶

۴-۷-۳ حد پرتوگیری براساس تأثیر فتوشیمیایی نور بر چشم (۳۰۰ nm – ۷۰۰ nm) ۲۷

۴-۷-۴ حد پرتوگیری براساس اثرات گرمایی پرو فروسرخ بر عدسی و قرنیه چشم (محدوده طول موج های ۷۸۰ نانومتر تا ۳۰۰۰ انومتر) ۳۳

۴-۷-۵ حد پرتوگیری با نور مرئی و پرتوهای فروسرخ برای پوست ۳۴

۴-۷-۶ پرتوگیری مکرر با پرتوهای نوری ۳۵

٤-۸ حد پرتوگیری برای پرتوهای فراصوت ۳۷

حدود پرتوگیری از تابش های لیزری ۳۸

۱ هدف و دامنه کاربرد ۳۸

۲ اصطلاحات و تعاریف ۳۸

۳ حدود پرتوگیری ٤۲

٤ عوامل مؤثر بر حدود پرتوگیری ٤۳

٥ کمیت های مورد استفاده در تعیین مقادیر پرتوگیری ٤٦

٦ حدود پرتوگیری چشم ٥۰

۷ حدود پرتوگیری پوست ٦٥

۸ طول موج های چندگانه ٦٥

۹ پرتوگیری های تکرار شونده..... ٦٦
۱۰ پرتوگیری های مزمن..... ٦٧
۱۱ تدابیر احتیاطی ویژه..... ٦٧
حد مجاز مواجهه شغلی(OEL) پرتوهای یون‌ساز..... ۶۸
مراجع..... ۷۰

پیش گفتار

امروزه پرتوها در صنعت کشاورزی، پزشکی و تحقیقات، کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند و به منظور تحلیل استفاده کاربران حدود مجاز مواجهه شغلی پرتوها، این راهنما به استناد ماموریت تعیین شده برای وزارت بهداشت در مباحث پرتوهای کتاب حدود مجاز مواجهه شغلی (ویرایش پنجم) بمنظور ارائه توضیحات تکمیلی در مبحث پرتوها برای کاربران تدوین شده است.

اساسی ترین رکن از ارکان بهداشت و حفاظت در برابر پرتوهای یونیزان آگاهی از مقدار اشعه موجود در محیط و تعیین میزان پرتو دریافتی است تا در نهایت تدابیر متناسب با آن اتخاذ شود. عدم رعایت نکات ایمنی در طول کار با پرتوهای یونساز می تواند خطرات جبران ناپذیری را برای پرتوکاران، مردم و محیط زیست و حتی نسل های بعد به همراه داشته باشد. بنابراین تدوین راهنما و اعمال آیین نامه ها و استانداردهای حفاظت در برابر پرتو جهت استفاده بهینه و ایمن پرتوها در زمینه های مختلف صنعتی و تشخیصی – درمانی امری لازم و ضروری می‌باشد.

در راستای افزایش آگاهی متخصصین بهداشت حرفه ای و طب کار بهره گیری از آخرین دستاوردهای علمی از مهم ترین راهکارها محسوب می شود. به همین دلیل مرکز سلامت محیط و کار با استفاده از تجارب و علم متخصصین و اساتید محترم اقدام به تهیه و تدوین رهنمودهای تخصصی بهداشت حرفه ای و طب کار نموده است که قابل استفاده برای همکاران در سراسر کشور، سایر ارگان ها و دستگاه های اجرایی و همچنین عموم جامعه بوده است. در این خصوص به منظور دستیابی به هدف بالا، راهنمای حاضر تحت عنوان «راهنمای ملی بهداشت حرفه ای در کار با پرتوها» تهیه و تدوین گردیده است. شایان ذکر است که کلیه کارشناسان، اساتید و صاحب نظران و متخصصین امر می توانند نظرات پیشنهادی خود را به این مرکز جهت بهبود این راهنما ارسال کنند.

مقدمه

اساس حفاظت در برابر پرتو، اجتناب از پرتوگیری غیرضروری است. در این استاندارد حدود پرتوگیری از پرتوهای غیریونساز شامل پرتوهای الکترومغناطیسی در محدوده فرکانس صفر تا ۱۵×۱۰^{۱۵} هرتز ارائه شده است. علاوه بر لزوم رعایت الزامات این استاندارد توسط مراکز ذکر شده در دامنه کاربرد، اصول "توجیه پذیری" و بهینه سازی نیز در همه موارد و در هر شرایطی باید در این مراکز در نظر گرفته شوند. "توجیه پذیری" و "بهینه سازی" دو اصل هستند که زیربنای کلیه استانداردهای بین المللی ایمنی پرتوی و همچنین ضوابط واحد قانونی هستند. منظور از "توجیه پذیری" این است که سود فعالیتها بیش از مخاطرات پرتوی آنها باشد و در ارزیابی سود و مخاطرات تمامی پی آمدهای مهم و قابل توجه باید در نظر گرفته شوند. منظور از "بهینه سازی این است که اقدامات ایمنی به کار گرفته شده بالاترین سطح ایمنی به طور منطقی قابل دستیابی را فراهم کنند. برای این منظور باید مخاطرات پرتوی در شرایط عادی کار و در شرایط بروز سانحه درنظر گرفته شوند. در این صورت پرتوگیری و احتمال و میزان پرتوگیری بالقوه به کمترین مقدار به طور منطقی قابل دستیابی" خواهد رسید.

پرتوها با توجه به میزان انرژی، نحوه اثرگذاری روی انسان به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- میدان‌ها و پرتوهای غیر یون‌ساز
- پرتوهای یون‌ساز

بر همین اساس راهنمای حاضر بر طبق دسته بندی فوق تدوین گردید و نسخه الکترونیکی آن نیز بر روی سایت مرکز سلامت محیط و کار قرار خواهدگرفت تا طیف گسترده ای از کاربران به آن دسترسی مداوم داشته باشند.

حدود پرتوگیری پرتوهای غیریونساز

۱ هدف

پرتوهای غیریونساز شامل همه پرتوها و میدان‌های طیف الکترومغناطیسی هستند که قادر به یونسازی در بدن انسان نیستند. مشخصه این پرتوها این است که انرژی هر فوتون آن‌ها کمتر از ۱۲/۴ eV است که با طول‌موج‌های بلندتر از ۱۰۰ nm، یا بسامدهای کمتر از ۳x۱۰۱۵ Hz متناظر است. امواج مکانیکی صوتی و فراصوتی نیز غیریونساز هستند.

پرتوگیری، عمل یا شرایط قراردادن یا قرارگرفتن در معرض تابش پرتو است. پرتوگیری را می‌توان به‌صورت پرتوگیری عادی یا بالقوه و یا به‌صورت پرتوگیری شغلی، پزشکی و مردم طبقه‌بندی کرد. پرتوگیری طبیعی، ناشی از منابع طبیعی پرتو است، مقل پرتوگیری از پرتوهای فرابنفش خورشیدی. پرتوگیری عادی، پرتوگیری قابل انتظار در شرایط عادی کار با منابع یا تاسیسات با در نظر گرفتن پرتوگیری ناشی از سوانح جزئی قابل کنترل است.

این راهنما بر اساس استاندارد پایه حفاظت در برابر اشعه تدوین گردیده است و هدف اصلی این مستند، ضمن آشنایی اولیه با کاربردهای رایج در صنایع ایران، ارائه راهنمایی های لازم در خصوص بکارگیری ایمن منابع پرتوگیری ناشی از این کاربردهاست.

۲ دامنه کاربرد

تعیین حدود پرتوگیری از پرتوهای غیریونساز به‌منظور اعمال حفاظت کافی در برابر اثرات بیولوژیکی زیانبار و قطعی است، که تاکنون برای این پرتوها شناخته‌شده‌است. این حدود برای کلیه مراکز کار با پرتوهای غیریونساز کاربرد دارد. همچنین تمامی مراکزی که از پرتوهای غیریونساز به هر نحو استفاده می‌کنند، باید شرایط استقرار تاسیسات را به گونه‌ای فراهم کنند که این حدود رعایت شود.

پرتوگیری مردم، پرتوگیری طبیعی و نیز پرتوگیری افراد جامعه ناشی از فعالیت‌های پرتوی و منابعی مجاز است که شامل پرتوگیری شغلی و پزشکی نمی‌شود. پرتوگیری شغلی، پرتوگیری کارکنان به‌هنگام کار است. حدود پرتوگیری برای پرتوگیری شغلی و پرتوگیری مردم، جداگانه در نظر گرفته می‌شود. این حدود برای پرتوگیری پزشکی قابل اعمال نیست.

۳ اصطلاحات و تعاریف

۳-۱ پرتوگیری

Exposure

عمل یا شرایط قراردادن یا قرارگرفتن در معرض تابش پرتو است. پرتوگیری را می توان به صورت پرتوگیری عادی یا بالقوه و یا به صورت پرتوگیری شغلی، پزشکی و مردم طبقه بندی نمود.

۳-۲ پرتوگیری شغلی

Occupational exposure

پرتوگیری کارکنان به هنگام کار است.

۳-۳ پرتو گیری مردم

Public exposure

پرتوگیری طبیعی و نیز پرتوگیری افراد جامعه ناشی از فعالیت‌های پرتوی و منابع مجاز است. پرتوگیری مردم شامل پرتوگیری شغلی و پزشکی نمی باشد.

۳-٤ پرتوگیری پزشکی

Medical exposure

پرتو گیری بیماران در فرایند تشخیص یا درمان در پزشکی و دندانپزشکی و همچنین پرتوگیری افرادی (به استثنای کارکنان که از بیماران مراقبت یا پرستاری می کنند و یا پرتوگیری افرادی که داوطلبانه در برنامه تحقیقاتی پزشکی شرکت می کنند.

۳-۵ پرتوگیری طبیعی

Natural exposure

پرتوگیری ناشی از منابع طبیعی پرتو است، مثل پرتوگیری از پرتوهای فرابنفش خورشیدی.

۳-٦ پرتوگیری عادی

Normal exposure

پرتو گیری قابل انتظار در شرایط عادی کار با منابع یا تأسیسات با در نظر گرفتن پرتوگیری ناشی از سوانح جزئی قابل کنترل است.

۳-۷ تابندگی(L)

Radiance

تابندگی، توان تابشی از واحد سطح یک منبع تابش کننده در واحد زاویهٔ فضایی است. تابندگی معادل شار خارج شده از واحد سطح در واحد زاویهٔ فضایی است. تابندگی برای منبع نور تعریف می شود.

یادآوری: یکای تابندگی در دستگاه بین المللی یکاها (SI) وات بر مترمربع بر استرادیان ($Wm^{-2}\ sr^{-1}$) است.

۳-۸ جریان تماسی

Contact current

جریان عبوری از یک محیط بیولوژیکی است که از طریق تماس با یک الکترود یا منابع جریان دیگر برقرار میشود.

۳-۹ چگالی توان(S)

Power density

توان تابیده شده به یک کره کوچک تقسیم بر مساحت دایره عظیمه آن کره میباشد. در میدان های الکترومغناطیسی چگالی توان با بزرگی بردار پوینتینگ نیز برابر است.

$S = E \times H$

که در آن :

S بردار پوینتینگ (Pointing Vector)

E بردار شدت میدان الکتریکی

H بردار شدت میدان مغناطیسی

یادآوری - یکای چگالی توان در دستگاه بین المللی یکاها، وات بر مترمربع ($W\ m^{-2}$)است.

۳- ۱۰ زاویه دید چشمه یا منبع (زاویه دید)

Angular subtense

زاویه دید چشمه یا منبع (اندازه منبع)[1] ، α ، بر حسب رادیان (rad) است و از معادله زیر به دست می آید:

$$a = \frac{d_s}{r} \qquad (۱)$$

که در آن:

r فاصله چشم از منبع نور و

D_s بُعد متوسط منبع نور[2] است.

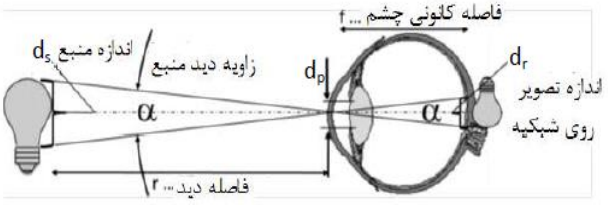
در این معادله، r و d_s باید با یکای مشابه جایگزین شوند.

---

[1] . Source size

[2] . Mean light source dimension

در شکل ۱ نحوه تعیین زاویه دید منبع مشخص شده است. در این شکل d_p قطر مردمک است.



شکل ۱- نحوه تعیین زاویه دید منبع

اگر ناحیه تابش منبع نور، دایره ای باشد، d_s قطر دایره است. چنانچه ناحیه تابش دایره ای شکل نباشد، d_s مساوی میانگین حسابی کوتاه ترین و بلندترین ابعاد ناحیه تابش منبع است. در ادامه، زاویه دید منبع یا چشمه به اختصار زاویه دید خوانده می شود.

۳-۱۱ زاویه دید بیشینه

Maximum angular subtense

زاویه است که به ازای آن و مقادیر بیشتر از آن، آستانه دز مؤثر تابندگی/دز مؤثر تابشی برای آسیب دیدن شبکیه به تغییرات زاویه دید، بستگی ندارد. مقادیر a_{max} در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مقادیر زاویه پیشینه در شرایط مختلف

a_{max} (rad)	t (s)
۰/۰۰۵	$t < ۶۲۵ \times ۱۰^{-۶}$
۰/۲ $t^{۰/۵}$	$۶۲۵ \times ۱۰^{-۶} \leq t < ۰/۲۵$
۰/۱	$t \geq ۰/۲۵$
توجه: مقدار t باید بر حسب ثانیه جایگزین شود تا مقدار a_{max} بر حسب رادیان به دست آید.	

۳-۱۲ زاویه دیدکمینه

Minimum angular subtense

کمترین زاویه دید منبع است که چشم می تواند تفکیک کند. همچنین زاویه ای است که به ازای آن و مقادیر کمتر از آن، ابعاد تصویر تشکیل شده روی شبکیه کمترین مقدار را خواهد داشت. زاویهٔ دید رادیان را زاویه دید $۱/۵ \times ۱۰^{-۳}$ rad (۱/۵ mrad = a_{min}) کمینه می نامند.

۱۳-۳ زاویه فضایی (Ω)

Solid angle

زاویه فضایی رأس مخروطی است که از یک کره جدا شده است به گونه ای که رأس مخروط روی مرکز کره باشد. این زاویه مطابق با شکل ۲، از رابطه زیر محاسبه می شود:

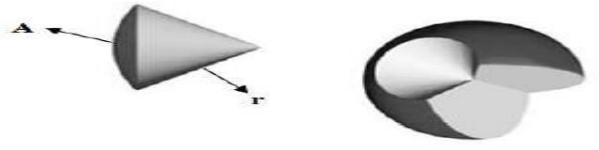
$$\Omega = \frac{A}{r^2} \qquad (۲)$$

که در آن:

A مساحت قطاع کروی مخروط جدا شده بر حسب متر مربع ($m^۲$) و

r شعاع کره بر حسب متر (m) است.

Ω بر حسب استرادیان (sr) است و زاویه فضایی یک کره کامل برابر با ۴π استرادیان می باشد.



شکل ۲- نحوه تعیین مقدار زاویه فضایی

۱٤-۳ شدت تابش

Irradiance

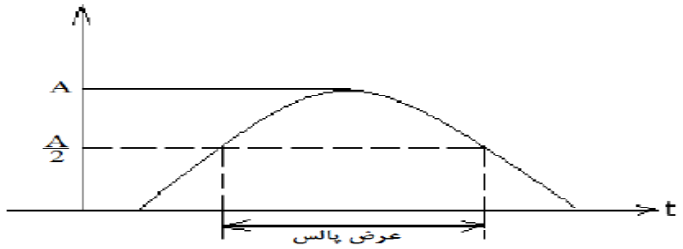
توان تابیده شده به واحد سطح در یک نقطه را شدت تابش (E) در آن نقطه می نامند. به عبارت دیگر، شدت تابش در یک نقطه نسبت توان تابیده شده به جزئی از یک سطح به مساحت آن جزء است.

یادآوری: یکای شدت تابش در دستگاه بین المللی یکاها وات بر مترمربع ($W\ m^{-۲}$) است.

۱۵-۳ عرض پالس

Pulse duration

مدت زمانی است که طول می کشد تا دامنه پالس از نصف مقدار پیک به مقدار پیک رسیده و دوباره به نصف آن کاهش یابد.در شکل ۳ عرض پالس نمایش داده شده است.



شکل ۳ – عرض پالس

۳-۱۶ کمیت های پایه

Basic quantity

کمیت هایی هستند که مستقیماً با اثرات بیولوژیکی زیانبار پرتوهای الکترومغناطیس مرتبط هستند،نظیر شدت میدان الکتریکی، شدت میدان مغناطیسی و چگالی توان در بافت بدن

۴ طبقه بندی انواع پرتوهای غیر یونساز و حدود پرتوگیری

جدول ۲ تقسیم بندی پرتوهای غیر یونساز را نشان میدهد.

جدول۲- تقسیم‌بندی پرتوهای غیریونساز

ردیف	نوع پرتو	نماد	بسامد	طول‌موج
۱	فرابنفش	UV	$۷٫۵۰\times۱۰^{۱۴}-۳\times۱۰^{۱۵}$	۱۰۰–۴۰۰ nm
۲	نور مرئی	VIS	$۳٫۸۵\times۱۰^{۱۴}-۷٫۵۰\times۱۰^{۱۴}$	۴۰۰–۷۸۰ nm
۳	فروسرخ	IR	$۳٫۰۰\times۱۰^{۱۱}-۳٫۸۵\times۱۰^{۱۴}$	۷۸۰–$۱۰^{۶}$ nm
۴	ریزموج	MW	$۳٫۰۰\times۱۰^{۸}-۳٫۰۰\times۱۰^{۱۱}$	۱–۱۰۰۰ mm
۵	رادیویی	RF	$۳٫۰۰\times۱۰^{۵}-۳٫۰۰\times۱۰^{۸}$	۱–۱۰۰۰ m
۶	بسامد کم	LF	$۳٫۰۰\times۱۰^{۴}-۳٫۰۰\times۱۰^{۵}$	۱–۱۰ km
۷	بسامد بسیارکم	VLF	$۳۰۰-۳٫۰۰\times۱۰^{۴}$	۱۰–۱۰۰۰ km
۸	بسامد فوق‌العاده کم	ELF	<۳۰۰	>۱۰۰۰ km
۹	میدان مغناطیسی ثابت	DC	۰	-----
۱۰	فراصوت	US	>۲۰۰۰۰	----

٤-١ حدود کمیت های پایه – پرتوگیری شغلی و مردم

در جدول ۳، حدود پایه پرتوگیری برای پرتوهای الکترومغناطیسی ELF، VLF، LF، RF و MW در محدوده فرکانسی یک تا ۱۰ GHz درج شده است. در فرکانس های بالاتر از ۱۰ GHz، چگالی توان روی سطح بدن، کمیت پایه محسوب می شود و حدود آن همان مقادیری است که در جدول های ۴ و ۵ ارائه شده است.

در شکل ۴ حدود پایه برای پرتوگیری شغلی و مردم بر حسب شدت میدان الکتریکی داخل بدن و تأثیرات آن بر سیستم اعصاب مرکزی و سیستم اعصاب محیطی بدن تا فرکانس ۱۰۰ KHz نشان داده شده است.

جدول ۳- حدود پایه پرتوگیری شغلی و مردم در فرکانس های f(Hz) ۱ تا ۱۰ GHz

نوع پرتوگیری	حدود پرتوگیری						
	محدودهٔ فرکانسی	چگالی جریان مؤثر (سر و تنه)[b] mA/m^2	SAR متوسط (تمام بدن) W/Kg	SAR موضعی (سر و تنه)[c,d,e] W/Kg	SAR موضعی(دست ها و پاها) $W/Kg^{c,d}$	شدت میدان الکتریکی مؤثر[f] (سیستم اعصاب مرکز سر) E، v/m	شدت میدان الکتریکی مؤثر[f] (بافت های سر و بدن) E، v/m
شغلی	۴-۱ Hz	۴۰÷f	–	–	–	$۵/۰۰\times۱۰^{-۱}$÷f	$۸/۰۰\times۱۰^{-۱}$
	۱۰-۴ Hz	۱۰	–	–	–	$۵/۰۰\times۱۰^{-۱}$÷f	$۸/۰۰\times۱۰^{-۱}$
	۲۵-۱۰ Hz	۱۰	–	–	–	$۵/۰۰\times۱۰^{-۲}$	$۸/۰۰\times۱۰^{-۱}$
	۴۰۰-۲۵ Hz	۱۰	–	–	–	$۲/۰۰\times۱۰^{-۲}$×f	$۸/۰۰\times۱۰^{-۱}$
	۰/۱-۴ KHz	۱۰	–	–	–	$۸/۰۰\times۱۰^{-۱}$	$۸/۰۰\times۱۰^{-۱}$
	۳-۱ KHz	f÷۱۰۰	–	–	–	$۸/۰۰\times۱۰^{-۱}$	$۸/۰۰\times۱۰^{-۱}$
	۱۰۰-۳ KHz	f÷۱۰۰	–	–	–	$۲/۷۰\times۱۰^{-۴}$×f	$۲/۷۰\times۱۰^{-۴}$×f
	۰/۱۰-۱ MHz	f÷۱۰۰	$۴/۰۰\times۱۰^{-۱}$	$۱/۰۰\times۱۰^{-۱}$	$۱۰^{-۱}\times$ ۲/۰۰	$۲/۷۰\times۱۰^{-۴}$×f	$۲/۷۰\times۱۰^{-۴}$×f
	۰/۱۰-۰۱ GHz	–	$۴/۰۰\times۱۰^{-۱}$	$۱/۰۰\times۱۰^{-۱}$	$۱۰^{-۱}\times$ ۲/۰۰	–	–
مردم	۴-۱ Hz	۸÷f	–	–	–	$۱/۰۰\times۱۰^{-۱}$÷f	$۴/۰۰\times۱۰^{-۱}$
	۱۰-۴ Hz	۲	–	–	–	$۱/۰۰\times۱۰^{-۱}$÷f	$۴/۰۰\times۱۰^{-۱}$
	۲۵-۱۰ Hz	۲	–	–	–	$۱/۰۰\times۱۰^{-۲}$	$۴/۰۰\times۱۰^{-۱}$
	۱۰۰۰-۲۵ Hz	۲	–	–	–	$۴/۰۰\times۱۰^{-۴}$×f	$۴/۰۰\times۱۰^{-۱}$
	۳-۱ KHz	f÷۵۰۰	–	–	–	$۴/۰۰\times۱۰^{-۱}$	$۴/۰۰\times۱۰^{-۱}$
	۱۰۰-۳ KHz	f÷۵۰۰	–	–	–	$۱/۳۵\times۱۰^{-۴}$×f	$۱/۳۵\times۱۰^{-۴}$×f
	۰/۱۰-۱ MHz	f÷۵۰۰	$۸/۰۰\times۱۰^{-۲}$	۲/۰۰	۴/۰۰	$۱/۳۵\times۱۰^{-۴}$×f	$۱/۳۵\times۱۰^{-۴}$×f
	۰/۱۰-۰۱ GHz	–	$۸/۰۰\times۱۰^{-۲}$	۲/۰۰	۴/۰۰	–	–
یادآوری: مقادیر این جدول از منابع ۱ و ۲ در بند پیش گفتار اخذ شده است.							

نوع پرتوگیری	حدود پرتوگیری						
	محدودهٔ فرکانسی	چگالی جریان مؤثر (سر و تنه)[b] mA/m ۲	SAR متوسط (تمام بدن) W/Kg	SAR موضعی (سر و تنه) [c,d,e] W/Kg	SAR موضعی(دست ها و پاها) W/Kg [c,d]	شدت میدان الکتریکی مؤثر (سیستم اعصاب مرکز سر)، E [f] v/m	شدت میدان الکتریکی مؤثر (بافت های سر و بدن)، E [f] v/m

[a] در تمام جدول مقدار فرکانس، f، بر حسب هرتز جایگزین شود.

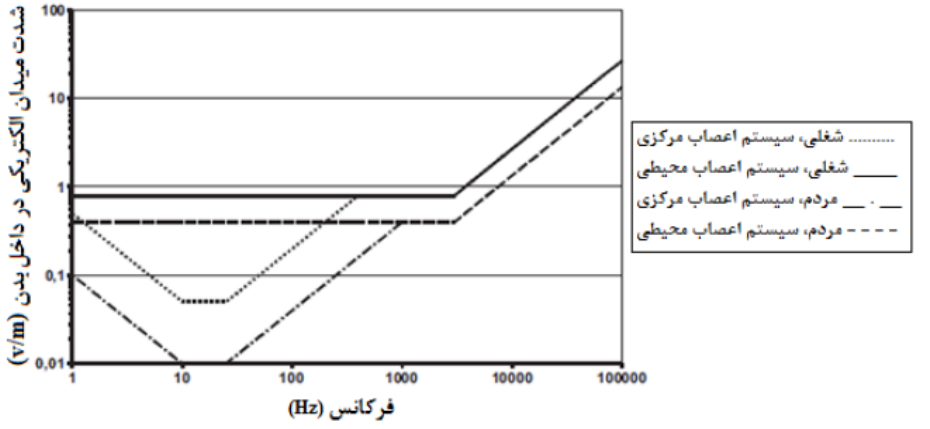
[b] به دلیل غیر یکنواختی الکتریکی بافت های بدن، چگالی های جریان باید بر یک سطح مقطع ۱cm ۲ عمود بر مسیر جریان متوسط گیری شوند.

[c] مقادیر SAR در بازه های زمانی ۶ دقیقه ای متوسط گیری می شوند.

[d] SAR متوسط موضعی باید در هر ۱۰ گرم از بافت به هم پیوسته به دست آید؛ بیشترین SAR به دست آمده از این طریق باید برای برآورد پرتوگیری استفاده شود. (منظور این است که SAR باید برای هر ۱۰gr تعیین شود و از مجموعه SAR های به دست آمده بیشترین مقدار در نظر گرفته شود).

[e] برای پالس ها با عرض t_p، فرکانس معادلی که در حدود پایه به کار می رود، باید از معادله ($f=1\div 2\ t_p$) محاسبه شود. علاوه بر این برای پرتوگیری های پالسی در محدودهٔ فرکانس ۰/۳ تا ۱۰ گیگاهرتز و برای پرتوگیری موضعی سر، به منظور محدود کردن یا جلوگیری از اثرات شنیداری حاصل از انبساط کشسانی حرارتی، مراعات یک حد پایه ی اضافی توصیه می شود. در این شرایط SAR میانگین گیری شده بر ۱۰ گرم بافت، نباید از ۲ mJ/Kg برای عموم مردم، بیشتر شود.

F برای تعیین Eداخل بدن، باید میانگین بردار E در حجمی معادل ۲ ×۲ ×۲ mm^3بدست آید. آنگاه برای هر بافت، مقدار پیشینه شدت میدان الکتریکی به دست آمده، باید با حدود ارائه شده مقایسه شود. در صورتی که محدوده یک بافت کمتر از حجم فوق باشد، میانگین گیری روی همان محدوده بافت صورت گیرد.



شکل٤ - حدود پایه برای پرتوگیری شغلی و مردم بر حسب شدت میدان الکتریکی داخل بدن و تأثیرات آن بر سیستم اعصاب مرکز و سیستم اعصاب محیطی بدن

٤-٢ سطوح مرجع (حدود کمیت های کاربردی) برای پرتوگیری شغلی و مردم

٤-٢-١ سطوح مرجع پرتوگیری شغلی برای پرتوهای الکترومغناطیسی RF, LF, VLF, ELF و MW

در جدول ۴، سطوح مرجع یا حدود کمیت های کاربردی برای پرتوگیری شغلی با عنوان حدود پرتوگیری شغلی برای پرتوهای الکترومغناطیسی RF, LF, VLF, ELF و MW نشان داده شده است.

جدول ٤- حدود پرتوگیری شغلی برای پرتوهای الکترومغناطیسی RF, LF, VLF, ELF و MW

محدوده فرکانس (f)	حدود پرتوگیری			
	شدت میدان الکتریکی مؤثر، E V/m	شدت میدان مغناطیسی مؤثر، H A/m	چگالی شار مغناطیسی مؤثر، B μT	چگالی توان موج تخت، Seq W/m^2
۱ Hz تا	–	$۱/۶۳ \times ۱۰^{۵}$	$۲/۰۰ \times ۱۰^{۵}$	–
۱ Hz –۸ Hz	$۲/۰۰ \times ۱۰^{۴}$	$۱/۶۳ \times ۱۰^{۵} \div f$	$۲/۰۰ \times ۱۰^{۵} \div f$	–
۸ Hz –۲۵ Hz	$۲/۰۰ \times ۱۰^{۴}$	$۲/۰۰ \times ۱۰^{۴} \div f$	$۲/۵۰ \times ۱۰^{۴} \div f$	–
۲۵ Hz –۳۰۰ Hz	$۵/۰۰ \times ۱۰^{۵} \div f$	$۸/۰۰ \times ۱۰^{۲}$	$۱/۰۰ \times ۱۰^{۳}$	–
۰/۳ KHz –۳ KHz	$۵/۰۰ \times ۱۰^{۲} \div f$	$۲/۴۰ \times ۱۰^{۲} \div f$	$۳/۰۰ \times ۱۰^{۲} \div f$	–
۳ KHz –۱۰۰ KHz	$۱/۷۰ \times ۱۰^{۲}$	$۸/۰۰ \times ۱۰^{۱}$	$۱/۰۰ \times ۱۰^{۲}$	–
۰/۱ MHz –۳ MHz	$۱/۷۰ \times ۱۰^{۲}$	$۱/۶۰ \div f$	$۲/۰۰ \div f$	–
۳ MHz –۱۰ MHz	$۶/۱۰ \times ۱۰^{۲} \div f$	$۱/۶۰ \div f$	$۲/۰۰ \div f$	–
MHz –۰/۴ GHz ۱۰	$۶/۱۰ \times ۱۰^{۱}$	$۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱}$	$۲/۰۰ \times ۱۰^{۱}$	$۱/۰۰ \times ۱۰^{۱}$
۰/۴ GHz –۲ GHz	$۳/۰۰ \times \sqrt{f}$	$\times ۱۰^{-۳} \times \sqrt{f}$ ۸/۰۰	$\times ۱۰^{-۲} \times \sqrt{f}$ ۱/۰۰	$f \div (۴/۰۰ \times ۱۰^{۱})$
۲ GHz –۳۰۰ GHz	$۱/۳۷ \times ۱۰^{۲}$	$۳/۶۰ \times ۱۰^{-۱}$	$۴/۵۰ \times ۱۰^{-۱}$	$۵/۰۰ \times ۱۰^{۱}$

یادآوری: مقادیر این جدول از منابع ۱ و ۲ در بند پیش گفتار اخذ شده است.

[a] در هر سطر یکای فرانس(f)، همان یکایی است که در ستون محدوده فرکانس مرتبط با آن سطر آمده است.

[b] حدود این جدول طوری در نظر گرفته شده است که حدود پایه مراعات شود. در صورتی که بتوان ثابت کرد که حدود پایه رعایت می شود و اثرات مضر غیرمستقیم نیز بروز نمی کند، می توان در میدان های بالاتر از حدود ارائه شده در این جدول پرتوگیری نمود.

[c] در فرکانس های کمتر از ۱۰۰ kHz، مقادیر E و H مقادیر مؤثر در یک دوره تناوب هستند.

[d] در فرکانس های بیشتر از ۱۰۰ kHz، حدود میدان مغناطیسی برای اثرات آن بر سیستم اعصاب مرکزی و محیطی بدن، بالاتر از حدود پرتوگیری از این میدان برای سایر اثرات است. لذا در این فرکانس ها حدود سخت گیرانه تر که مرتبط با سایر اثرات است در جدول آمده است. به این علت حدود در فرکانس ۱۰۰ kHz برای H و B ناپیوسته است.

[e] برای فرکانس های ۱۰۰ kHz الی ۱۰ GHz، باید مقادیر شدت میدان الکتریکی مؤثر (E)، شدت میدان مغناطیسی مؤثر (H) و چگالی توان موج تخت (S_{eq}) در مدت ۶ دقیقه، با مقادیر جدول مقایسه شود (به عبارت دیگر S_{eq}، E^2، H^2 و B^2 در بازه های زمانی ۶ دقیقه متوسط گیری شوند.)

[f] برای پیشینه مقادیر E و H تا فرکانس ۱۰۰ kHz به شکل های ۳ و ۴ و برای فرکانس های بین ۱۰۰ kHz و ۱۰MHz به شکل های ۵ و ۶ مراجعه شود. بین ۱۰۰ kHz و ۱۰MHz مقادیر پیشینه شدت میدان، با استفاده از درون یابی[3] از مقدار ۱/۵ برابر حد شدت مؤثر E یا H در فرکانس ۱۰۰ kHz تا ۳۲ برابر حد شدت مؤثر E یا H در فرکانس ۱۰MHz به دست می آید. در فرکانس های بالاتر از ۱۰MHz توصیه می شود که میانگین چگالی توان موج تخت، روی عرض هر پالس از ۱۰۰۰ برابر حد ارائه شده برای (S_{eq}) بیشتر نشود. این معادل آن است که E و H از ۳۲ برابر حدود این میدان ها بیشتر نشود.

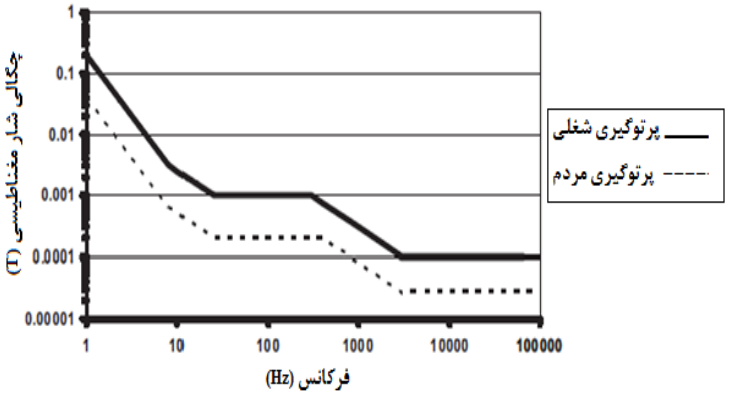
[g] برای فرکانس های بالاتر از ۱۰GHz، S_{eq}, E_{eff} و H_{eff} باید در مدت $68/f^{1.05}$ دقیقه به دست آید، به عبارت دیگر مقادیر S_{eq}، E^2، H^2 و B^2 در بازه زمانی $68/f^{1.05}$ دقیقه متوسط گیری شوند، (f بر حسب گیگاهرتز است) و با جدول مقایسه گردند.

٤-٢-٢ سطوح مرجع پرتوگیری مردم برای پرتوهای الکترومغناطیسی RF, LF, VLF, ELF و MW

جدول ۵، سطوح مرجع (حدود کمیت های کاربردی) پرتوگیری مردم با عنوان حدود پرتوگیری مردم برای پرتوهای الکترومغناطیسی RF, LF, VLF, ELF و MW را نشان می دهد.

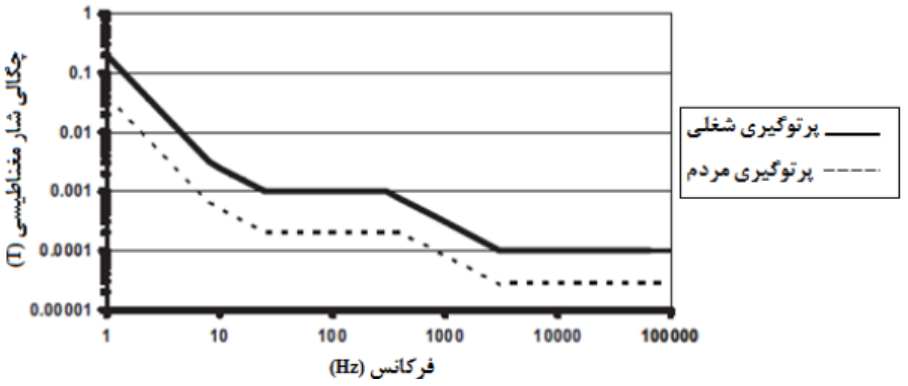
نمودارهای شکل های ۵ و ۶ حدود پرتوگیری شغلی و مردم در میدان های الکترومغناطیسی متغیر با زمان در بازه فرکانسی ۱ Hz تا ۱۰۰ KHz را براساس جدول های ۴ و ۵ نشان می دهد.

نمودارهای شکل های ۷ و ۸ حدود پرتوگیری شغلی و مردم در میدان های الکترومغناطیسی متغیر با زمان در فرکانس های ۱۰۰ kHz به بالا را براساس جدول های ۴ و ۵ نشان می دهد.



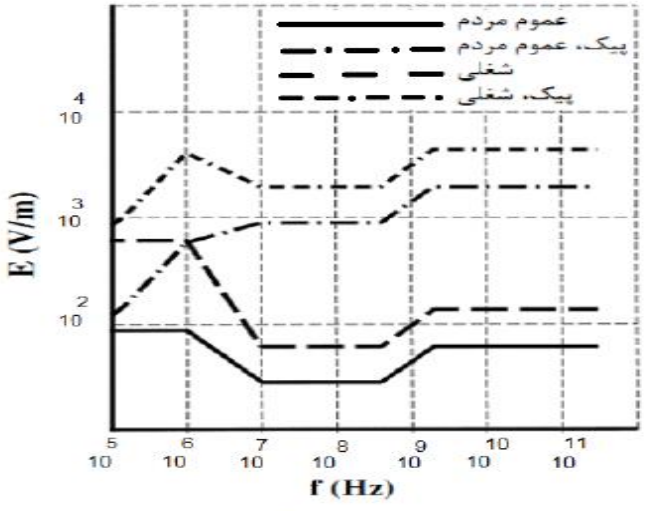
شکل ۵- سطوح مرجع برای میدان های الکتریکی متغیر با زمان در بازه فرکانسی ۱ Hz تا 100kHz

[3] . Interpolation

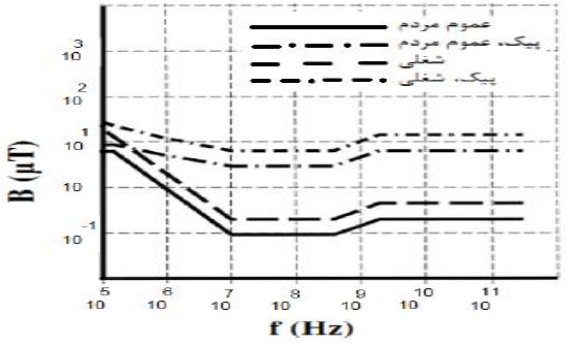


شکل

٦- سطوح مرجع برای میدان های مغناطیسی متغیر با زمان در بازه فرکانسی ۱ Hz تا 100kHz



شکل ۷- سطوح مرجع برای میدان های الکتریکی متغیر با زمان در بازه فرکانسی ۱۰۰ Hz تا ۳۰۰ GHz



شکل ۸- سطوح مرجع برای میدان مغناطیسی متغیر با زمان ۱۰۰ Hz تا ۳۰۰ GHzجدول ۵- حدود پرتوگیری مردم برای پرتوهای الکترومغناطیسی RF, LF, VLF, ELF و MW

محدوده فرکانس (f)	حدود پرتوگیری			
	شدت میدان الکتریکی مؤثر، E V/m	شدت میدان مغناطیسی مؤثر، H A/m	چگالی شار مغناطیسی مؤثر، B μT	چگالی توان موج تخت، Seq W/m^2
۱ Hz تا	–	۳/۲۰ × ۱۰^{۴}	۴/۰۰ ×۱۰^{۴}	–
۱ Hz –۸ Hz	۵/۰۰ × ۱۰^{۴}	۳/۲۰ ×۱۰^{۴}÷f^2	۴/۰۰ ×۱۰^{۴}÷f^2	–
۸ Hz –۲۵ Hz	۵/۰۰ × ۱۰^{۳}	۴/۰۰ ×۱۰^{۴}÷f	۵/۰۰ ×۱۰^{۴}÷f	–
۲۵ Hz –۵۰ Hz	۵/۰۰ × ۱۰^{۳}	۱/۶۰ ×۱۰^{۲}	۲/۰۰ ×۱۰^{۳}	–
۵۰ Hz –۴۰۰ Hz	۲/۵۰ ×۱۰^{۵}÷f	۱/۶۰ ×۱۰^{۲}	۲/۰۰ ×۱۰^{۳}	–
۰/۴ KHz –۳ KHz	۲/۵۰ ×۱۰^{۲}÷f	۶/۴۰ ×۱۰^{۱}÷f	۸/۰۰ ×۱۰^{۱}÷f	–
۳ kHz –۱۰۰ kHz	۸/۳۰ × ۱۰^{۱}	۲/۱۰ × ۱۰^{۱}	۲/۷۰ ×۱۰^{۱}	–
۰/۱ MHz –۱ MHz	۸/۳۰ × ۱۰^{۱}	۵/۰۰	۶/۲۵	–
۱ MHz –۱۰ MHz	$\times$ ۱۰^{۱} $\div\sqrt{f}$ ۸/۷۰	۷/۳۰ ×۱۰$^{-۱}$÷f	۹/۲۰ ×۱۰$^{-۱}$÷f	–
MHz –۰/۴ GHz ۱۰	۲/۸۰ × ۱۰^{۱}	۷/۳۰ × ۱۰$^{-۲}$	۹/۲۰ ×۱۰$^{-۲}$	۲/۰۰
۰/۴ GHz –۲ GHz	۱/۳۷۵ $\times\sqrt{f}$	× ۱۰$^{-۳}$ $\times\sqrt{f}$ ۳/۷۰	× ۱۰$^{-۳}$ $\times\sqrt{f}$ ۴/۶۰	f ÷ (۲/۰۰ × ۱۰^{۲})
۲ GHz –۳۰۰ GHz	۱/۶۰ ×۱۰$^{-۱}$	۱/۶۰ ×۱۰$^{-۱}$	۲/۰۰ ×۱۰$^{-۱}$	۱/۰۰ ×۱۰^{۱}

یادآوری: مقادیر این جدول از منابع ۱ و ۲ در بند پیش گفتار اخذ شده است.

[a] در هر سطر یکای فرانس(f)، همان یکایی است که در آن سطر، در ستون محدوده فرکانس آمده است.

[b] حدود این جدول طوری است که حدود پایه مراعات شود. در صورتی که بتوان ثابت کرد که حدود پایه رعایت می شود و اثرات مضر غیرمستقیم نیز بروز نمی کند، می توان در میدان های بالاتر از حدود ارائه شده در این جدول پرتوگیری نمود.

[c] در فرکانس های کمتر از ۱۰۰ kHz، مقادیر E و H مقادیر مؤثر در یک دوره تناوب هستند.

[d] در فرکانس های بیشتر از ۱۰۰ kHz، حدود میدان مغناطیسی برای اثرات آن بر سیستم اعصاب مرکزی و محیطی بدن، بالاتر از حدود پرتوگیری از این میدان برای سایر اثرات است. لذا در این فرکانس ها حدود سخت گیرانه تر که مرتبط با سایر اثرات است در جدول آمده است. به این علت حدود در فرکانس ۱۰۰ kHz برای H و B ناپیوسته است.

[e] برای فرکانس های ۱۰۰ kHz الی ۱۰ GHz، باید مقادیر شدت میدان الکتریکی مؤثر (E)، شدت میدان مغناطیسی مؤثر (H) و چگالی توان موج تخت (S_{eq}) در مدت ۶ دقیقه، با مقادیر جدول مقایسه شود (به عبارت دیگر S_{eq}، E^2، H^2 و B^2 در بازه های زمانی ۶ دقیقه متوسط گیری شوند.)

[f] برای بیشینه مقادیر E و H تا فرکانس ۱۰۰ kHz به شکل های ۳ و ۴ و برای فرکانس های بین ۱۰۰ kHz و ۱۰MHz به شکل های ۵ و ۶ مراجعه شود. بین ۱۰۰ kHz و ۱۰MHz مقادیر بیشینه شدت میدان، با استفاده از درون یابی[۴] از مقدار ۱/۵ برابر حد شدت مؤثر E یا H در فرکانس ۱۰۰ kHz تا ۳۲ برابر حد شدت مؤثر E یا H در فرکانس ۱۰MHz به دست می آید. در فرکانس های بالاتر از ۱۰MHz توصیه می شود که میانگین چگالی توان موج تخت، روی عرض هر پالس از ۱۰۰۰ برابر حد ارائه شده برای (S_{eq}) بیشتر نشود. این معادل آن است که E و H از ۳۲ برابر حدود این میدان ها بیشتر نشود.

[g] برای فرکانس های بالاتر از ۱۰GHz، S_{eq}, E_{eff} و H_{eff} باید در مدت $68/f^{1.05}$ دقیقه به دست آید، به عبارت دیگر مقادیر S_{eq}، E^2، H^2 و B^2 در بازه زمانی $68/f^{1.05}$ دقیقه متوسط گیری شوند، (f بر حسب گیگاهرتز است) و با جدول مقایسه گردند.

٤-٣ حدود جریان های تماسی و القایی شغلی و مردم

در میدان های الکتریکی و مغناطیسی تا فرکانس ۱۱۰ مگاهرتز، چنانچه در اثر تماس با رساناها یا منابع پرتو، مقدار جریان تماشی از حدود معینی بیشتر شود احتمال شوک و سوختگی وجود دارد. در این موارد باید حدودی که در جدول ۶ ارائه شده است، برای مردان بالغ رعایت شود. حدود جریان تماسی برای کودکان نصف و برای زنان بالغ دو سوم حدود تعیین شده برای مردان بالغ در جدول ۶ است.

جدول ٦- حدود جریان تماسی برای پرتوگیری مردم و شغلی تا فرکانس ۱۱۰ مگاهرتز

نوع پرتوگیری	محدوده فرکانس (f)	حد جریان تماسی mA
شغلی	۰ – ۲/۵ kHz	۱/۰۰
	۲/۵ kHz –۱۰۰ kHz	$۴/۰۰ \times ۱۰^{-۱} \times f^a$
	۱۰۰ kHz –۱۱۰ MHz	$۴/۰۰ \times ۱۰^{۱}$
مردم	۰ – ۲/۵ kHz	$۵/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$
	۲/۵ kHz –۱۰۰ kHz	$۲/۰۰ \times ۱۰^{-۱} \times f^a$
	۱۰۰ kHz –۱۱۰ MHz	$۲/۰۰ \times ۱۰^{۱}$
یادآوری ۱: مقادیر این جدول از منبع ۲ در بند پیش گفتار اخذ شده است. یادآوری ۲: حد جریان تماسی برای کودکان نصف و برای زنان بالغ دو سوم حدود داده شده برای مردان بالغ (در همین جدول) است.		
f^a بر حسب kHz می باشد.		

در بازه فرکانسی ۱۰ MHz تا ۱۱۰ MHz، حدود جریان های القایی در دست ها و پاها برای پرتوگیری شغلی و مردم در جدول ۷ ارائه شده است.

[4] . Interpolation

جدول ۷- حدود جریان القایی در دست ها و پاها برای پرتوگیری مردم و شغلی در بازه فرکانسی ۱۰ MHz تا ۱۱۰ MHz

نوع پرتوگیری	حد جریان القایی mA
شغلی	۱/۰۰ × ۱۰ ۲
مردم	٤/٥٠ × ۱۰ ۱
یادآوری ۱: مقادیر این جدول از منبع ۲ در بند پیش گفتار اخذ شده است.	
یادآوری ۲: حد پرتوگیری مردم برابر با حد پرتوگیری شغلی تقسیم برراديكال ٥ است.	
یادآوری ۳: برای تطبیق با حدود پایهٔ SAR موضعی، جذر مقدار متوسط گیری شدهٔ زمانی مربع جریان القایی، در هر بازه زمانی ۶ دقیقه، اساس حدود پایه را شکل می دهد. (شدت جریان القایی مؤثر در ۶ دقیقه باید با حدود این جدول مقایسه شود).	

٤-٤ پرتوگیری همزمان از میدان های الکترومغناطیسی با چند فرکانس مختلف

برای پرتوگیری همزمان از چند میدان با فرکانس های مختلف، اثرات آنها جمع پذیر است. جمع پذیری باید جداگانه برای اثرات حرارتی و تحریک الکتریکی و حدود پایه مربوطه مراعات شوند. بندهای بعدی برای فرکانس های مختلف در شرایط عملی پرتوگیری به کار می روند.

۱-٤-٤ کمیت های پایه

کمیت های پایه برای فرکانس های تا ۱۰ مگاهرتز، چگالی جریان القایی و شدت میدان الکتریکی داخل بدن هستند که باید مطابق با فرمامول های زیر جمع شوند و مقدار کل از یک کم تر باشد.

(۲۳)

$$\sum_{i=1\ Hz}^{10\ MHz} \frac{J_i}{J_{L.,i}} \leq 1$$

(۲۴)

$$\sum_{i=1\ Hz}^{10\ MHz} \frac{E_i}{E_{L.,i}} \leq 1$$

که در آنها:

J_i چگالی جریان القا شده بر حسب آمپر بر متر مربع (A/m ۲) در فرکانس i؛

$J_{L.,1}$ حد چگالی جریان بر حسب آمپر بر متر مربع (A/m ۲) در فرکانس i، که در جدول ۳ داده شده است؛

E_i شدت میدان الکتریکی داخل بدن بر حسب ولت بر متر (V/m) در فرکانس i؛ و

$J_{L.,1}$ حد شدت میدان الکتریکی بر حسب ولت بر متر (V/m) در فرکانس i است که در جدول ۳ داده شده است.

برای فرکانس های بیشتر از ۱۰۰ KHz ، مقادیر SAR و چگالی توان کمیت های پایه هستند و باید مطابق با فرمول زیر جمع شوند و مقدار کل از یک کم‌تر باشد.

(۲۵)

$$\sum_{i=100\ kHz}^{10\ GHz} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{i>10\ GHz}^{300\ GHz} \frac{S_i}{S_L} \leq 1$$

که در آن:

SAR_i عبارت است از SAR حاصل از پرتوگیری در فرکانس i مقدار آن به حسب وات بر کیلوگرم (W/kg) می باشد؛

SAR_L حد SAR بر حسب وات بر کیلوگرم (W/kg) می باشد که در جدول ۳ آمده است؛

S_i چگالی توان بر حسب وات بر متر مربع (W/m ۲) در فرکانس i؛ و

S_L حد چگالی توان بر حسب وات بر متر مربع (W/m ۲) در فرکانس i می باشد که در دول های ۴ و ۵ آمده است.

٤-٤-۲ سطوح مرجع (کمیت های کاربردی)

کمیت های کاربردی، شدت میدان الکتریکی، شدت میدان مغناطیسی و چگالی توان در محیط هستند. برای کاربردهای عملی، معیارهای زیر برای حدود شدت میدان ها به کار می رود. برای پیشگیری از اثرات آسیب رسان چگالی جریان القا شده و تحریک الکتریکی، تا فرکانس ۱۰ MH، دو فرمول زیر برای حدود میدان ها به کار می رود:

(۲۶)

$$\sum_{i=1\ Hz}^{10\ MHz} \frac{E_i}{E_{L.,j}} \leq 1$$

(۲۷)

$$\sum_{i=1\ Hz}^{10\ MHz} \frac{H_i}{H_{L.,j}} \leq 1$$

که در آنها:

Ej شدت میدان الکتریکی بر حسب ولت بر متر (V/m) در فرکانس j؛

$E_{L.,j}$ حد شدت میدان الکتریکی بر حسب ولت بر متر (V/m) در فرکانس j مطابق با جدول های ۴ و ۵ ؛

H_i شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر بر متر (A/m) در فرکانس j؛ و

$H_{L.,j}$ حد شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر بر متر (A/m) در فرکانس j مطابق با جدول های ۴ و ۵ هستند.

به منظور پیشگیری از اثرات گرمایی میدان های الکترومغناطیسی در بدن برای فرکانس های بیش از ۱۰۰ کیلوهرتز، دو فرمول زیر باید به کار گرفته شوند:

(۲۸)

$$\sum_{i=100\ kHz}^{300\ GHz} \left(\frac{E_i}{E_{L.,i}}\right)^1 \leq 1$$

و

(۲۹)

$$\sum_{i=100\ kHz}^{300\ GHz} \left(\frac{H_j}{H_{L.j}}\right)^2 \leq 1$$

که در آنها:

Ei شدت میدان الکتریکی بر حسب ولت بر متر (V/m) در فرکانس i؛

$E_{L.,j}$ حد شدت میدان الکتریکی بر حسب ولت بر متر (V/m) در فرکانس i مطابق با جدول های ۴ و ۵؛

Hj شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر بر متر (A/m) در فرکانس j؛ و

$H_{L.,j}$ حد شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر بر متر (A/m) در فرکانس j مطابق با جدول های ۴ و ۵ است.

٤-٤-٣ جریان های تماسی و القایی

در فرکانس های بالاتر از ۱۰ مگاهرتز برای جریان های القایی در دست و پا و در فرکانس های بالاتر از یک هرتز، برای جریان های تماسی حدود زیر اعمال می شود.

$$\sum_{k=10\ MHz}^{110\ MHz} \left(\frac{I_k}{I_{L,K}}\right)^2 \leq 1$$

$$\sum_{n=1\ Hz}^{110\ MHz} \frac{I_n}{I_{L,n}} \leq 1$$

که در آن:

I_k جریان القایی در دست و پا بر حسب میلی آمپر (mA) در فرکانس k؛

$I_{L,K}$ حد جریان القایی در دست و پا بر حسب میلی آمپر (mA) در فرکانس k مطابق با جدول ۷؛

I_n جریان تماسی بر حسب میلی آمپر (mA) در فرکانس n؛ و

$I_{L,n}$ حد جریان تماسی بر حسب میلی آمپر (mA) در فرکانس n مطابق با جدول ۶ است.

٤-٥ حد میدان مغناطیسی مستقیم (DC) برای مردم و شاغلین

حدود پرتوگیری در میدان مغناطیسی مستقیم، برای مردم و شاغلین در جدول ۸ داده شده است.

جدول ۸- حدود پرتوگیری مردم و شغلی در میدان مغناطیسی مستقیم

نوع پرتوگیری	مشخصات پرتوگیری	چگالی شار مغناطیسی
مردم [b, a]	در محل قرار گرفتن فرد (هر قسمت از بدن)	در هیچ نقطه ای نباید از ۴۰۰ میلی تسلا بیشتر شود.
شغلی [b]	در محل قرار گرفتن سر و تنه	در هیچ نقطه ای نباید از ۲ تسلا بیشتر شود.
	در محل قرارگرفتن دست و پا	در هیچ نقطه ای نباید از ۸ تسلا بیشتر شود.
یادآوری: مقادیر این جدول از منبع ۴ در بند پیش گفتار اخذ شده است.		

[a] اشخاصی که در بدنشان وسایل پزشکی الکترونیکی و یا ایمپلنت های حاوی مواد فرومغناطیسی قرار داده شده است، نباید در میدان مغناطیسی قوی تر از ۰/۵ میلی تسلا قرار گیرند.

[b] در محیط هایی که خطر پرت شدن اشیا در اثر میدان مغناطیسی ثابت وجود دارد، چگالی شار مغناطیسی نباید از ۰/۵ میلی تسلا بیشتر شود.

٤-٦ حدود پرتوگیری با پرتوهای فرابنفش (منابع غیرلیزری)

به‌منظور پیشگیری از آسیب دیدن چشم و یا پوست در اثر پرتوگیری با پرتوهای فرابنفش، در پرتوگیری شغلی و یا پرتوگیری مردم، دز تابشی موثر در هر بازه زمانی ۸ ساعته، نباید از $۳۰\ J/m^2$ بیشتر شود. در صورتیکه شدت تابش موثر مقدار ثابتی باشد، حداکثر مدت زمان مجاز پرتوهای فرابنفش در هر دوره ۸ ساعته از معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$E_{eff}\ t \leq 30\ J/m^2 \qquad (۳۲)$$

که در آن:

E_{eff} شدت تابش موثر بر حسب وات بر مترمربع؛ t مدت زمان پرتوگیری بر حسب ثانیه و $۳۰\ J/m^2$ حد دز تابشی موثر در هر دوره ۸ ساعته است.

در جدول ۹ حدود دز تابشی در هر دوره ۸ ساعته و ضرایب تاثیر نسبی پرتوهای فرابنفش در طول‌موج‌های مختلف بر بدن انسان آمده است. همچنین لازم است که در طول‌موج‌های ۳۱۵ نانومتر تا ۴۰۰ نانومتر علاوه بر رعایت حد دز تابشی موثر، دز تابشی (منظور انرژی جذب شده نیست) پرتو فرابنفش در محل چشم در هر دوره ۸ ساعته، از $۱۰^۴$ ژول بر متر مربع کمتر باشد.

حدود ۹- دز تابشی در هر دوره ۸ ساعته و ضرایب تاثیر نسبی پرتوهای فرابنفش در طول موج‌های مختلف بر بدن انسان

ردیف	طول‌موج nm	ضریب تاثیر نسبی (S_λ)	حد دز تابشی (J/m^2)	ردیف	طول‌موج nm	ضریب تاثیر نسبی (S_λ)	حد دز تابشی (J/m^2)	ردیف	طول‌موج nm	ضریب تاثیر نسبی (S_λ)	حد دز تابشی (J/m^2)
۱	۱۸۰	۰/۰۱۲	۲۵۰۰	۲۰	۲۸۰	۰/۸۸۰	۳۴	۳۹	۳۲۵	۰/۰۰۵۰	۶۰۰۰۰
۲	۱۹۰	۰/۰۱۹	۱۶۰۰	۲۱	۲۸۵	۰/۷۷۰	۳۹	۴۰	۳۲۸	۰/۰۰۴۴	۶۸۰۰۰
۳	۲۰۰	۰/۰۳۰	۱۰۰۰	۲۲	۲۹۰	۰/۶۴۰	۴۷	۴۱	۳۳۰	۰/۰۰۴۱	۷۳۰۰۰
۴	۲۰۵	۰/۰۵۱	۵۹۰	۲۳	۲۹۵	۰/۵۴۰	۵۶	۴۲	۳۳۳	۰/۰۰۳۷	۸۱۰۰۰
۵	۲۱۰	۰/۰۷۵	۴۰۰	۲۴	۲۹۷	۰/۴۶۰	۶۵	۴۳	۳۳۵	۰/۰۰۳۴	۸۸۰۰۰
۶	۲۱۵	۰/۰۹۵	۳۲۰	۲۵	۳۰۰	۰/۳۰۰	۱۰۰	۴۴	۳۴۰	۰/۰۰۲۸	۱۱۰۰۰۰
۷	۲۲۰	۰/۱۲۰	۲۵۰	۲۶	۳۰۳	۰/۱۲۰	۲۵۰	۴۵	۳۴۵	۰/۰۰۲۴	۱۳۰۰۰۰
۸	۲۲۵	۰/۱۵۰	۲۰۰	۲۷	۳۰۵	۰/۰۶۰	۵۰۰	۴۶	۳۵۰	۰/۰۰۲۰	۱۵۰۰۰۰
۹	۲۳۰	۰/۱۹۰	۱۶۰	۲۸	۳۰۸	۰/۰۲۶	۱۲۰۰	۴۷	۳۵۵	۰/۰۰۱۶	۱۹۰۰۰۰
۱۰	۲۳۵	۰/۲۴۰	۱۳۰	۲۹	۳۱۰	۰/۰۱۵	۲۰۰۰	۴۸	۳۶۰	۰/۰۰۱۳	۲۳۰۰۰۰
۱۱	۲۴۰	۰/۳۰۰	۱۰۰	۳۰	۳۱۳	۰/۰۰۶	۵۰۰۰	۴۹	۳۶۵	۰/۰۰۱۱	۲۷۰۰۰۰
۱۲	۲۴۵	۰/۳۶۰	۸۳	۳۱	۳۱۵	۰/۰۰۳	۱۰۰۰۰	۵۰	۳۷۰	۰/۰۰۰۰۹۳	۳۲۰۰۰۰
۱۳	۲۵۰	۰/۴۳۰	۷۰	۳۲	۳۱۶	۰/۰۰۲۴	۱۳۰۰۰	۵۱	۳۷۵	۰/۰۰۰۰۷۷	۳۹۰۰۰۰
۱۴	۲۵۴	۰/۵۰۰	۶۰	۳۳	۳۱۷	۰/۰۰۲۰	۱۵۰۰۰	۵۲	۳۸۰	۰/۰۰۰۰۶۴	۴۷۰۰۰۰
۱۵	۲۵۵	۰/۵۲۰	۵۸	۳۴	۳۱۸	۰/۰۰۱۶	۱۹۰۰۰	۵۳	۳۸۵	۰/۰۰۰۰۵۳	۵۷۰۰۰۰
۱۶	۲۶۰	۰/۶۵۰	۴۶	۳۵	۳۱۹	۰/۰۰۱۲	۲۵۰۰۰	۵۴	۳۹۰	۰/۰۰۰۰۴۴	۶۸۰۰۰۰
۱۷	۲۶۵	۰/۸۱۰	۳۷	۳۶	۳۲۰	۰/۰۰۱۰	۲۹۰۰۰	۵۵	۳۹۵	۰/۰۰۰۰۳۶	۸۳۰۰۰۰
۱۸	۲۷۰	۱/۰۰۰	۳۰	۳۷	۳۲۲	۰/۰۰۰۶۷	۴۵۰۰۰	۵۶	۴۰۰	۰/۰۰۰۰۳۰	۱۰۰۰۰۰۰
۱۹	۲۷۵	۰/۹۶۰	۳۱	۳۸	۳۲۳	۰/۰۰۰۵۴	۵۶۰۰۰				

[a] حد پرتو دریافتی در یک دوره ۸ ساعته، مربوط به مواردی است که پرتو فرابنفش مستقیماً به سطح پوست یا چشم بتابد.

[b] حد پرتوهای فرابنفش، برای شاغلین در نظر گرفته شده است ولی با احتیاط برای مردم نیز قابل استفاده است. اما امکان دارد که افرادی که نسبت به پرتو فرابنفش بسیار حساس هستند، در این شرایط آسیب ببینند. حد فوق برای افراد معمولی در نظر گرفته شده است و نه افراد حساس

[c] اندازه شدت پرتو برای به دست آوردن پرتو دریافتی، باید با دستگاه اندازه گیری با پاسخ زاویه ای کسینوسی صورت گیرد.

[d] S_λ در طول موج هایی که در جدول ذکر نشده است توسط معادله های زیر محاسبه می شود.

$$210 \leq 270\,nm\,, S_\lambda = 0.959^{(270-\lambda)} \qquad (۳۳)$$

$$270 < \lambda \leq 300\,nm, S_\lambda = 1 - 0.36\left(\frac{\lambda-270}{20}\right)^{1.64} \qquad (۳۴)$$

$$300 < \lambda \leq 400\,nm,\ S_\lambda = 0.3 \times 736^{(\lambda-300)} + 10^{(2-0.0163\ \lambda)} \qquad (۳۵)$$

٤-٧ حدود پرتوگیری با پرتوهای مرئی و فروسرخ (منابع غیر لیزری)

به منظور جلوگیری از خطرات پرتوهای مرئی و فروسرخ (غیرلیزری) برای چشم، لازم است بندهای ۴-۱-۷ تا ۴-۷-۴ این استاندارد همزمان رعایت شود.

٤-٧-١ حد پرتوگیری براساس تأثیر گرمایی نور بر شبکیه (۳۸۰ nm تا ۱٤۰۰ nm)

برای بررسی اثرات گرمایی نور بر شبکیه چشم، از معادله های زیر استفاده می شود.

- تابندگی مؤثر شبکیه[5] (L_R)

تابندگی مؤثر شبکیه با معادله زیر محاسبه می شود:

$$L_R = \sum_{\lambda=380}^{1400} L_\lambda \, R_\lambda \, \Delta_\lambda \qquad (۳۶)$$

که در آن:

λ طول موج هایی است که در آن طول موج ها L_λ اندازه گیری می شود. λ بر حسب نانومتر (nm) است و در محدوده ۳۸۰ نانومتر تا ۱۴۰۰ نانومتر قرار دارد؛

L_λ تابندگی در طول موج λ بر حسب وات بر متر مربع بر استرادیان بر نانومتر $(W/m^2\,Sr.nm)$؛

R_λ ضریب خطرناکی طول موج برای شبکیه به لحاظ گرمایی است و با در نظر گرفتن حساسیت شبکیه به گرما در طول موج های مختلف تعیین می شود. این کمیت بدون یکا است و مقادیر آن در جدول ۱۳ داده شده است؛ و

$\Delta\lambda$ فاصله دو طول موج متوالی است که L_λ در آن دو طول موج اندازه گیری می شود و یکای آن، نانومتر (nm) است. در نواحی که تغییرات R_λ سریع است، باید $\Delta\lambda$ کوچک تر انتخاب شود.

یادآوری: یکای تابندگی مؤثر در دستگاه بین المللی یکاها، وات بر متر مربع بر استرادیان $(W/m^2.Sr)$ است.

- **دز تابندگی مؤثر شبکیه[6] (D_R)**

دز تابندگی مؤثر، انتگرال تابندگی مؤثر در مدت زمان پرتوگیری است و از معادله زیر به دست می آید:

$$D_R = \int_{t_1} L_R\,(t)dt \qquad (۳۷)$$

که در آن:

D_R دز تابندگی مؤثر بر حسب ژول بر متر مربع بر استرادیان $(J/m^2.Sr)$؛

$L_R(t)$ تابندگی مؤثر در لحظه t بر حسب وات بر متر مربع بر استرادیان $(W/m^2.Sr)$ و

t_1 مدت زمان پرتوگیری بر حسب ثانیه (s) است.

چنانچه تابندگی مؤثر در مدت پرتوگیری ثابت باشد، دز تابندگی مؤثر از معادله زیر به دست می آید:

$$D_R = L_R\, t_1 \qquad (۳۸)$$

---

[5] . Effective radiance
[6] . Effective radiance dose

که در آن، L_R تابندگی مؤثر بر حسب وات بر متر مربع بر استرادیان($W/m^2.Sr$)است.

به منظور جلوگیری از اسیب های شبکیه ناشی از گرمای پرتوهای نور مرئی و فروسرخ، حدود ارائه شده در جدول ۱۰ باید برای تابندگی مؤثر و یا دز تابندگی مؤثر رعایت شود. این حدود به طول موج، زاویه دید و زمان پرتوگیری بستگی دارد.

جدول ۱۰- حد تابندگی مؤثر و دز تابندگی مؤثر براساس تأثیر گرمایی نور بر شبکیه

زاویه دید چشمه	مدت پرتوگیری، t S	حدود پرتوگیری		
		تابندگی مؤثر (L_R) $W/m^2.Sr$	دز تابندگی مؤثر (D_R) $(J/m^2.Sr)$	زیرنویس های مرتبط
کوچک $a < a_{min}$	$t < ۱ \times ۱۰^{-۶}$	–	۴۲۰	b,c
	$۱ \times ۱۰^{-۶} \leq t < ۰/۲۵$	$۱/۳ \times ۱۰^{۷} \times t^{-۰/۲۵}$	$۱/۳ \times ۱۰^{۷} \times t^{۰/۷۵}$	a, b, c
	$t \geq ۰/۲۵$	$۱/۹ \times ۱۰^{۷}$	–	b, d
متوسط $a_{min} \leq a < a_{max}$	$t < ۱ \times ۱۰^{-۶}$	–	$۰/۶۳ \times a^{-۱}$	a, b, c
	$۱ \times ۱۰^{-۶} \leq t < ۰/۲۵$	$۲/۰ \times ۱۰^{۴} \times a^{-۱} \times t^{-۰/۲۵}$	$۲/۰ \times ۱۰^{۴} \times a^{-۱} \times t^{۰/۷۵}$	a, b, c, d, e
	$t \geq ۰/۲۵$	$۲/۸ \times ۱۰^{۴} \times a^{-۱}$	$۰/۷۱ \times ۱۰^{۴} \times a^{-۱}$	a, b, d
بزرگ $a \geq a_{max}$	$t < ۱ \times ۱۰^{-۶}$	–	۱۳۰	c, e
	$۱۰^{-۶} \leq t < ۶۲۵ \times ۱۰^{-۶}$	–	$۴/۰ \times ۱۰^{۶} \times t^{۰/۷۵}$	a, e, f
	$۶۲۵ \times ۱۰^{-۶} \leq t < ۰/۲۵$	-	$۱۰ \times ۱۰^{۴} \times t^{۰/۲۵}$	a, e, f
	$t \geq ۰/۲۵$	$۲/۸ \times ۱۰^{۵}$	–	d, e

یادآوری: مقادیر این جدول از منبع ۶ در بند پیش گفتار اخذ شده است.

a برای محاسبه حدود پرتوگیری، D_R^{EL}, L_R^{EL} باید t بر حسب ثانیه و a بر حسب رادیان باشد.

b a_{min} = ۰/۰۰۱۵ رادیان است. اگر $a \leq a_{min}$ باشد، برای محاسبه حد پرتوگیری به جای a مقدار a_{min} را بگذارید.

c اگر $t < ۱۰^{-۶}$ s باشد، برای محاسبه حد دز تابندگی مؤثر D_R^{EL}، به جای t مقدار $۱۰^{-۶}$ s را بگذارید.

d اگر $t < ۰/۲۵$ s باشد، برای محاسبه حد تابندگی مؤثر، به جای t مقدار ۰/۲۵ s را بگذارید.

e برای $۱۰^{-۶} \text{ s} \leq t < ۶۲۵ \times ۱۰^{-۶}$ s، a_{min} = ۰/۰۰۵ rad اگر ۱×۱۰^{-۶} s $\leq t < ۰/۲۵$ s باشد، آنگاه $۰/۲ \times t^{۰/۵}$ a_{min} است. اگر $t \geq ۰/۲۵$ باشد، آنگاه a_{min} = ۰/۱ rad است.

f اگر $a_{min} <$ ۰/۱ rad باشد، آنگاه $a = a_{max}$ است.

۴-۷-۲ پرتوگیری شبکیه با منبع فروسرخ دارای نور مرئی ضعیف

چنانچه پرتوگیری شبکیه از یک منبع فروسرخ گرمایی یا هر منبع فروسرخ نزدیک که نور مرئی قابل توجهی ندارد، روی دهد و مدت زمان پرتوگیری از ۰/۲۵ s بیشتر باشد، تابندگی مؤثر، L_R، نباید از حدود به دست آمده مطابق با معادله های زیر بیشتر شود:

اگر ۰/۲۵ s < t < ۱۰۰ s باشد:

$$L_{WVS}^{EL} = 2a^{1-}t^{-0.25} \times 10^4$$

و اگر $t \geq$ ۱۰۰ s باشد:

$$L_{WVS}^{EL} = 0.63\ a^{-1}$$

در این معادله ها:

L_{WVS}^{EL} حد تابندگی مؤثر برای منابع فروسرخ نزدیک (۷۸۰ نانومتر تا ۱۴۰۰ نانومتر) با نور مرئی ناچیز، بر حسب وات بر متر مربع بر استرادیـــان ($W/m^2.Sr$)؛

α زاویه دید منبع بر حسب رادیان (rad)، و

t مدت زمان پرتوگیری بر حسب ثانیه (s) است.

در شرایطی که وضعیت تابشی منبع یکنواخت نیست و نقاط داغ دارد، تابندگی روی زاویه γ =۱۱ mrad باید میانگین گیری شود و در این شرایط مقدار α برای تعیین حد پرتوگیری، نباید از ۱۱ mrad کمتر باشد.

٤-۷-۳ حد پرتوگیری براساس تأثیر فتوشیمیایی نور بر چشم (۳۰۰ nm – ۷۰۰ nm)

به منظور جلوگیری از آسیب های شبکیه ناشی از اثرات فتوشیمیایی نور آبی، حدود ارائه شده در جدول ۱۲ باید براساس شرایط رؤیت منبع و مدت زمان پرتوگیری شبکیه، برای تابندگی مؤثر، دز تابندگی مؤثر، شدت تابش مؤثر و دز تابشی مؤثر رعایت شود. این حدود به طول موج، زاویه دید و زمان پرتوگیری بستگی دارد. برای بررسی اثرات فتوشیمیایی نور بر چشم، از معادله های زیر استفاده می شود.

- شدت تابش مؤثر (Es)

$$E_B = \sum_{\lambda=300}^{700} E_\lambda\ B_\lambda \Delta\lambda \qquad (۴۱)$$

که در آن:

E_λ شدت تابش پرتو در طول موج λ بر حسب وات بر متر مربع بر نانومتر ($W/m^2.nm$)؛

B_λضریب نسبی تأثیر فتوشیمیایی پرتو در طول موج های مختلف، بر چشم؛ این ضریب واحد ندارد؛ و

$\Delta\lambda$ فاصلهٔ دو طول موج متوالی که B_λ در آن دو طول موج اندازه گیری می شود. یکای $\Delta\lambda$ ، نانومتر (nm) است.

یادآوری: یکای شدت تابش مؤثر در دستگاه بین المللی یکاها، وات بر متر مربع (W/m^2)است.

- دز تابشی مؤثر (H_B)

$$H_B = \int_{t_1} E_B\,(t)dt \qquad (۴۲)$$

- اگر E_B در مدت پرتوگیری ثابت باشد، معادله فوق به شکل زیر ساده می شود:

$$H_B = E_B\,t_1 \qquad (۴۳)$$

در دو معادله فوق:

E_B شدت تابش مؤثر بر حسب وات بر متر مربع (W/m^2) و

t_1 مدت زمان پرتوگیری بر حسب ثانیه (s) است.

یادآوری: یکای دز تابشی مؤثر در دستگاه بین المللی یکاها، ژول بر متر مربع (J/m^2) است.

- تابندگی مؤثر (L_B)

(۴۴)

$$L_B = \sum_{\lambda=300}^{700} L_\lambda\,B_\lambda\,\Delta\lambda$$

که در آن:

L_λ تابندگی در طول موج λ بر حسب وات بر متر مربع بر استرادیان بر نانومتر ($W/m^2.Sr.nm$)؛

B_λ ضریب تأثیر فتوشیمیایی نور با طول موج λ بر چشم؛ این ضریب بدون یکا است؛ و

$\Delta\lambda$ اختلاف دو طول موج متوالی است که L_λ در آنها اندازه گیری می شود و یکای آن نانومتر (nm) است.

یادآوری: یکای تابندگی مؤثر در دستگاه بین المللی یکاها، وات بر متر مربع بر استرادیان ($W/m^2.Sr$)است.

- دز تابندگی مؤثر (D_B)

$$D_B = \int_{t_1} L_B\,(t)dt \qquad (۴۵)$$

اگر در مدت پرتوگیری LB ثابت باشد، معادله فوق به شکل ساده زیر خواهد شد:

$$D_B = L_B\,t_1$$

در دو معادله فوق: (۴۶)

LB تابندگی مؤثر بر حسب وات بر متر مربع بر استرادیان ($W/m^2.Sr$)؛ و

t_1 مدت زمان پرتوگیری بر حسب ثانیه (s) است.

یادآوری: یکای دز تابندگی مؤثر در دستگاه بین المللی یکاها، ژول بر متر مربع بر استرادیان ($J/m^2.Sr$) است.

تابندگی باید روی زاویه فضایی γph میانگین گیری شود. مقدار قابل قبول γph تابعی از زمان است که در جدول ۱۱ داده شده است.

در جدول ۱۳ ضرایب تأثیر فتوشیمیایی $A\lambda$ و $B\lambda$ در طول موج های مختلف بر چشم انسان و نیز ضرایب خطرناکی طول موج برای شبکیه $R\lambda$ آورده شده است.

یادآوری: در پرتوگیری کودکان زیر ۲ سال و یا افراد دارای عدسی مصنوعی[7]، به دلیل حساسیت بالا باید در معادله های ۴۱ و ۴۴، مقادیر $B\lambda$ با مقادیر $A\lambda$ جایگزین شود.

[7] . Aphakic eyes

جدول ۱۱- مقادیر زاویه فضایی میانگین گیری، γph بر اساس زمان پرتوگیری

مدت زمان پرتوگیری، t s	γph Rad
$t < ۱۰۰$	۰/۰۱۱
$۱۰۰ \leq t < ۱۰^{۴}$	۰/۰۰۱۱ $t^{۰/۵}$
$t \geq ۱۰^{۴}$	۰/۱۱۰
یادآوری ۱: مقادیر این جدول از منبع ۶ در بند پیش گفتار اخذ شده است.	
یادآوری ۲: برای محاسبه γph بر حسب رادیان، مقدار t باید بر حسب ثانیه جایگزین شود.	

جدول ۱۲- حدود پرتوگیری براساس تأثیر فتوشیمیایی نور بر چشم

زاویه دید منبع	مدت زمان پرتوگیری	حدود پرتوگیری			
		شدت تابش مؤثر (E_B) W/m^2	دز تابشی مؤثر (H_B) J/m^2	تابندگی مؤثر (L_B) $W/m^2.Sr$	دز تابندگی مؤثر (D_B) $J/m^2.Sr$
α_a برابر با $b_{\gamma_{ph}}$ یا بیشتر از آن	۰/۲۵ s < t < $۱۰^{۴}$ s	–	–	–	$۱۰^{۶}$
	t ≥ $۱۰^{۴}$ s	–	–	۱۰۰	–
α کمتر از γ_{ph}	۰/۲۵ s ≤ t < ۱۰۰ s	–	۱۰۰	–	–
	s ≤ t < ۳۰۰۰۰ s ۱۰۰	۱	–	–	–
یادآوری: مقادیر این جدول از منبع ۶ در بند پیش گفتار اخذ شده است.					
a_a زاویه دید است.					
b مقادیر γ_{ph} در جدول ۱۱ داده شده است.					

جدول ۱۳- ضرایب $A\lambda$, $B\lambda$ و $R\lambda$

ردیف	طول موج nm	ضریب تأثیر نسبی فتوشیمیایی		ضریب تأثیر نسبی آسیب گرمایی شبکیه $R\lambda$
		برای افراد دارای عدسی مصنوعی $A\lambda$	برای افراد با چشم سالم $B\lambda$	
۱	۳۰۰	۶/۰۰	۰/۰۱	–
۲	۳۰۵	۶/۰۰	۰/۰۱	–
۳	۳۱۰	۶/۰۰	۰/۰۱	–
۴	۳۱۵	۶/۰۰	۰/۰۱	–
۵	۳۲۰	۶/۰۰	۰/۰۱	–
۶	۳۲۵	۶/۰۰	۰/۰۱	–
۷	۳۳۰	۶/۰۰	۰/۰۱	–
۸	۳۳۵	۶/۰۰	۰/۰۱	–
۹	۳۴۰	۵/۸۸	۰/۰۱	–
۱۰	۳۴۵	۵/۷۱	۰/۰۱	–
۱۱	۳۵۰	۵/۴۶	۰/۰۱	–
۱۲	۳۵۵	۵/۲۲	۰/۰۱	–
۱۳	۳۶۰	۴/۶۲	۰/۰۱	–
۱۴	۳۶۵	۴/۲۹	۰/۰۱	–
۱۵	۳۷۰	۳/۷۵	۰/۰۱	–
۱۶	۳۷۵	۳/۵۶	۰/۰۱	–
۱۷	۳۸۰	۳/۱۹	۰/۰۱	۰/۰۱
۱۸	۳۸۵	۲/۳۱	۰/۰۱۲۵	۰/۰۱۲۵
۱۹	۳۹۰	۱/۸۸	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵
۲۰	۳۹۵	۱/۵۸	۰/۰۵۰	۰/۰۵
۲۱	۴۰۰	۱/۴۳	۰/۱۰۰	۰/۱
۲۲	۴۰۵	۱/۳۰	۰/۲۰۰	۰/۲
۲۳	۴۱۰	۱/۲۵	۰/۴۰۰	۰/۴
۲۴	۴۱۵	۱/۲۰	۰/۸۰۰	۰/۸
۲۵	۴۲۰	۱/۱۵	۰/۹۰۰	۰/۹
۲۶	۴۲۵	۱/۱۱	۰/۹۵۰	۰/۹۵
۲۷	۴۳۰	۱/۰۷	۰/۹۸۰	۰/۹۸
۲۸	۴۳۵	۱/۰۳	۱/۰۰۰	۱/۰
۲۹	۴۴۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰
۳۰	۴۴۵	۰/۹۷۰	۰/۹۷۰	۱/۰
۳۱	۴۵۰	۰/۹۴۰	۰/۹۴۰	۱/۰
۳۲	۴۵۵	۰/۹۰۰	۰/۹۰۰	۱/۰
۳۳	۴۶۰	۰/۸۰۰	۰/۸۰۰	۱/۰

۳۴	۴۶۵	۰/۷۰۰	۰/۷۰۰	۱/۰
۳۵	۴۷۰	۰/۶۲۰	۰/۶۲۰	۱/۰

ادامه جدول ۱۳- ضرایب $R\lambda$ و $B\lambda, A\lambda$

ردیف	طول موج nm	ضریب تأثیر نسبی فتوشیمیایی		ضریب تأثیر نسبی آسیب گرمایی شبکیه $R\lambda$
		برای افراد دارای عدسی مصنوعی $A\lambda$	برای افراد با چشم سالم $B\lambda$	
۳۶	۴۷۵	۰/۵۵۰	۰/۵۵۰	۱/۰
۳۷	۴۸۰	۰/۴۵۰	۰/۴۵۰	۱/۰
۳۸	۴۸۵	۰/۴۰۰	۰/۴۰۰	۱/۰
۳۹	۴۹۰	۰/۲۲۰	۰/۲۲۰	۱/۰
۴۰	۴۹۵	۰/۱۶۰	۰/۱۶۰	۱/۰
۴۱	۵۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۱/۰
۴۲	۵۰۵	۰/۰۷۹	۰/۰۷۹	۱/۰
۴۳	۵۱۰	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۱/۰
۴۴	۵۱۵	۰/۰۵۰	۰/۰۵۰	۱/۰
۴۵	۵۲۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۱/۰
۴۶	۵۲۵	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲	۱/۰
۴۷	۵۳۰	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۱/۰
۴۹	۵۴۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۱/۰
۵۰	۵۴۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۱/۰
۵۱	۵۵۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۱/۰
۵۲	۵۵۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۱/۰
۵۳	۵۶۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۱/۰
۵۴	۵۶۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۱/۰
۵۵	۵۷۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۱/۰
۵۶	۵۷۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۱/۰
۵۷	۵۸۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۱/۰
۵۸	۵۸۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۱/۰
۵۹	۵۹۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱/۰
۶۰	۵۹۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱/۰
۶۱	۶۰۰–۷۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱/۰
۶۲	۷۰۰–۱۰۵۰	–	–	$10^{[(700-\lambda)/500]}$
۶۳	۱۰۵۰–۱۱۵۰	–	–	۰/۲
۶۴	۱۱۵۰–۱۲۰۰	–	–	$0.2 \times 10^{0.02[(1150-\lambda)]}$

ردیف	طول موج nm	ضریب تأثیر نسبی فتوشیمیایی		ضریب تأثیر نسبی آسیب گرمایی شبکیه $R\lambda$
		برای افراد دارای عدسی مصنوعی $A\lambda$	برای افراد با چشم سالم $B\lambda$	
۶۵	۱۴۰۰-۱۲۰۰	-	-	۰/۰۲
یادآوری: مقادیر این جدول از منبع ۶ در بند پیش گفتار اخذ شده است.				

٤-٧-٤ حد پرتوگیری براساس اثرات گرمایی پرو فروسرخ بر عدسی و قرنیه چشم (محدوده طول موج های ۷۸۰ نانومتر تا ۳۰۰۰ نانومتر)

مدت زمان پرتوگیری، t s	حد شدت تابش، E_{IR}^{EL} W/m^2
$t < ۱۰۰۰$	$۱۸ \times ۱۰^{-۳} t^{-۰/۷۵}$
$t \geq ۱۰۰۰$	۱۰۰
یادآوری: مقادیر این جدول از منبع ۶ در بند پیش گفتار اخذ شده است.	

به منظور پیشگیری از آسیب های قرنیه و آسیب های مزمن عدسی چشم (مانند آب مروارید) ناشی از گرما، حدود ارائه شده در جدول ۱۴ باید برای شدت تابش در محدوده فروسرخ (۷۸۰ nm تا ۳۰۰۰ nm) رعایت شود. شدت تابش در محدوده فروسرخ از معادله زیر محاسبه می شود:

$$E_{IR} = \sum_{\lambda=780}^{1000} 0.3\, E_\lambda + \sum_{\lambda=1000}^{3000} E_\lambda \qquad (۴۷)$$

برای سادگی می توان به جای معادله بالا از معادله زیر استفاده کرد. در این صورت احتیاط بیشتری صورت می گیرد.

$$E_{IR} = \sum_{\lambda=780}^{3000} E_\lambda \qquad (۴۸)$$

در روابط ۴۷ و ۴۸:

E_{IR} شدت تابش در محدوده فروسرخ بر حسب وات بر متر مربع (W/m^2)؛ و

E_λ شدت تابش در طول موج λ بر حسب وات بر متر مربع (W/m^2) است.

جدول ١٤- حد پرتوگیری براساس اثرات گرمایی پرتو فروسرخ بر عدسی و قرنیه چشم

یادآوری: چنانچه دما محیط خیلی کم باشد، حدود فوق قابل افزایش است؛ مثلاً در دماهای صفر و ۱۰ درجه سانتیگراد حد شدت تابش را می توان به ترتیب W/m^2 ۴۰۰ و W/m^2 ۳۰۰ در نظر گرفت.

٤-٧-٥ حد پرتوگیری با نور مرئی و پرتوهای فروسرخ برای پوست

به منظور پیشگیری از آسیب دیدن پوست ناشی از اثرات گرمایی نور مرئی و پرتوهای فروسرخ، اگر مدت زمان تابش پرتو فروسرخ به پوست کمتر از ۱۰ s باشد، باید دز تابشی به سطح پوست در محدوده ۴۰۰nm تا ۳۰۰۰ nm کمتر از $۱۰^{۴} \times t^{۰/۲۵} \times ۲/۰$ ژول بر متر مربع باشد.

برای زمان تابش بیشتر از ۱۰s حد خاصی تعیین نمی شود، زیرا عکس العمل طبیعی بدن به گرمای حاصل مانع از آسیب دیدن پوست می شود.

٦-٧-٤ پرتوگیری مکرر با پرتوهای نوری

برای پرتوگیری از پالس های نوری تکرار شونده، مواجهه متناوب با پرتوهای نوری یا پرتوگیری با مقادیر متغیر پرتوهای نوری، موارد زیر باید رعایت شود.

- به عنوان یک اصل اساسی، برای هر پرتوگیری باید حدود پرتوگیری برای حداکثر مدت زمان آن پرتوگیری، T، رعایت شود.
- برای پرتوگیری از یک قطار پالس، اصل گفته شده در بالا بدان معنی است که دز تابشی یا دز تابندگی هر پالس باید از حدود تعیین شده برای عرض پالس و همچنین دز تابشی یا دز تابندگی کل در مدت زمان T، از حدود تعیین شده برای این مدت زمان کمتر باشد. به عبارت دیگر از نظر ریاضی، میانگین شدت تابش یا تابندگی در مدت زمان T باید با حد شدت تابش یا حد تابندگی مقایسه شود.
- چنانچه پرتوگیری از پالس های نوری نامنظم صورت گیرد و یا آن که مقادیر پرتوگیری تغییر کند، پرتوگیری در هر بازه زمانی مربوط به پالس ها و یا تغییرات و همچنین در کل زمان پرتوگیری T، باید در نظر گرفته شود؛ زیرا پرتوگیری در بخشی از مجموعه پالس ها می تواند بحرانی باشد و از پرتوگیری مربوط به یک پالس و یا متوسط پرتوگیری در T بیشتر شود.
- در صورتی که T از T_{max} که برای زمان های بیش تر از آن حد شدت تابش و یا تابندگی مقدار ثابتی می شود (مثلاً ۱۰۰۰۰ s برای اثرات فتوشیمیایی شبکیه، ۱۰۰۰ sبرای اثرات بر قسمت های قدامی چشم و ۰,۲۵ s برای اثرات گرمایی شبکیه)بیش تر شود، در نظر گرفتن مجموع دز تابشی یا دز تابندگی(یا میانگین گیری شدت تابش یا تابندگی) در زمان های بیش از T_{max} (مثلاً ۱۰۰۰ sبرای اثرات بر قسمت های قدامی چشم) لازم نیست که مجموع پرتوگیری ها در کل زمان پرتوگیری در نظر گرفته شود، بلکه کافی است در هر بازه زمانی T_{max}(مثلاً ۱۰۰۰s برای اثرات بر قسمت های قدامی چشم) وضعیت پرتوگیری مستقلاً بررسی شود.
- در پرتوگیری های نامنظم در تمامی موارد، بازه زمانی برای بررسی وضعیت پرتوگیری برابر با T و یا T_{max} هر کدام که کمتر است، در نظر گرفته می شود. در هر یک از این بازه های زمانی، بحرانی ترین وضعیت یعنی وضعیتی که در آن پرتوگیری بیشترین مقدار را دارد، باید با حدود پرتوگیری مقایسه شود.
- برای پرتوگیری مکرر پوست که برای آن T_{max} برابر با ۱۰s است، نمی توان راهنمایی برای زمان سرد شدن بین دو پرتوگیری ارائه داد، زیرا آستانه آسیب هم به دمای محیط و هم به ناحیهٔ تحت تابش بستگی دارد. چنانچه بعد از یک پرتوگیری ۱۰ ثانیه ای زمان کافی بگذرد تا پوست خنک شود، اثرات بیولوژیکی ناشی از پرتوگیری های مکرر به هم افزوده نمیشوند و اساساً مستقل هستند. همچنین تا زمانی که درد احساس نشود (با این فرض که عکس العمل فردی که پرتوگیری می کند در برابر درد طبیعی است)،

احتمال آسیب دیدن وجود ندارد. برای نواحی بزرگ تحت مواجهه، عموماً تنش گرمایی عامل بازدارنده است.

- در مورد آسیب گرمایی شبکیه، چنانچه فرکانس تکرار پالس بیش از Hz ۵، و منبع از نوع منابع گسترده باشد که در این صورت زاویه دید منبع از mrad ۵ بیشتر است، الزام دیگری نیز باید برآورده شود. در این شرایط، حد گرمایی شبکیه برای هر یک از پالس های قطاری شامل n پالس در مدت زمان پرتوگیری، باید به شرح زیر کاهش یابد.
  - چنانچه زاویه دید منبع برابر با a_{max} یا از آن کمتر است، حد پرتوگیری برای هر پالس با ضریب $n^{-0.25}$ (برای n<۴۰) و ۰/۴ (برای $n \geq$ ۴۰ کاهش می یابد.
  - چنانچه زاویه دید منبع از a_{max} بیشتر و از ۱۰۰mrad کمتر است، حد پرتوگیری برای هر پالس با ضریب $n^{-0.25}$ (برای n <۶۲۵) و ۰/۲ (برای $n \geq$ ۶۲۵ کاهش می یابد.
  - چنانچه زاویه دید منبع برابر با mrad ۱۰۰ یا از آن بیشتر است، تغییری در حدود پرتوگیری برای هر پالس اعمال نمی شود.

٨-٤ حد پرتوگیری برای پرتوهای فراصوت

جدول ۱۵ حدود تراز فشار امواج فرا صوت برای پرتوگیری شغلی در حداکثر هشت ساعت کار در شبانه روز را نشان می دهد.

جدول ۱۵- حدود تراز فشار امواج فراصوت برای پرتوگیری شغلی در حداکثر ۸ ساعت کار روزانه

ردیف	تراز فشار dB (دسی بل)	فرکانس میانی $\frac{1}{3}$ اکتاو kHz
۱	۷۵	۲۰
۲	۱۱۰	۲۵، ۳۱/۵، ۴۰، ۵۰، ۶۳، ۸۰ و ۱۰۰
یادآوری: مقادیر این جدول از منبع ۷ در بند پیش گفتار اخذ شده است.		
α چنانچه زمان پرتوگیری دو الی چهار ساعت باشد، به مقادیر تراز فشار dB ۳ اضافه می شود. b چنانچه زمان پرتوگیری یک الی دو ساعت باشد، به مقادیر تراز فشار dB ۶ اضافه می شود. c چنانچه زمان پرتوگیری کمتر از یک ساعت باشد، به مقادیر تراز فشار dB ۹ اضافه می شود.		

جدول ۱۶- حدود تراز فشار امواج فراصوت برای پرتوگیری مردم

ردیف	تراز فشار dB (دسی بل)	فرکانس میانی $\frac{1}{3}$ اکتاو kHz
۱	۷۰	۲۰
۲	۱۰۰	۲۵، ۳۱/۵، ۴۰، ۵۰، ۶۳، ۸۰ و ۱۰۰
یادآوری: مقادیر این جدول از منبع ۷ در بند پیش گفتار اخذ شده است.		

تراز فشار امواج فراصوت در محل قرارگرفتن گوش هر فرد، باید با حدود داده شده در این استاندارد مقایسه شود. لذا باید اندازه گیری ها در ارتفاع میانگین محل قرارگیری گوش افراد، صورت گیرد.

حدود پرتوگیری از تابش های لیزری

در محدوده طول موج های ۱۸۰ نانومتر تا ۱۰۰۰ میکرون

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین حدود پرتوهای نوری لیزر در محدوده ۱۸۰ نانومتر تا ۱۰۰۰ میکرون به منظور اعمال حفاظت کافی در برابر اثرات بیولوژیکی زیانبار و قطعی است که تاکنون برای این پرتوها شناخته شده است.

این استاندارد برای تمامی اشخاص حقیقی و حقوقی که به هر نحو از لیزر استفاده می کنند کاربرد دارد. حدود پرتوهای نوری لیزر برای پرتوگیری شغلی و پرتوگیری عموم مردم، جداگانه در نظر گرفته نمی شود. این حدود برای پرتوگیری پزشکی تشخیصی اعمال می شود، ولی در پرتوگیری درمانی قابل اعمال نیست. این استاندارد برای منابع نوری غیرلیزری کاربرد ندارد و برای منابع مزبور باید الزامات تعیین شده در "استاندارد پرتوهای غیریونساز – حدود پرتوگیری" با شماره مصوب ۸۵۶۷ رعایت شود.

۲ اصطلاحات و تعاریف

۲-۱ پرتوگیری:Exposure

عمل یا شرایط قراردادن یا قرارگرفتن در معرض تابش پرتو است.

۲-۳ چشمه بزرگ: Large source

چشمه گسترده ای که در محل چشم، زاویه دیدی بزرگتر از a_{max} ایجاد می کند، چشمه بزرگ در نظر گرفته می شود.

۲-٤ چشمه ظاهری: Apparent source

برای باریکه های گوسی[8] (TEM $_{00}$[9])، مرکز انحنای جبهه موجی[10] که به چشم برخورد می کند، مکان چشمه ظاهری است. برای باریکه های با واگرایی کم، مکان چشمه ظاهری در بی نهایت است.

---

[8] . Gaussian beam

[9] . باریکه گوسی (TEM_{00}) باریکه لیزری است که شدت نور در مرکز مقطع آن بیشترین مقدار را دارد و با افزایش فاصله از مرکز باریکه شدت به صورت تابع گوسی کاهش می یابد.

[10] . Wavefront

۲-۵ چشمه گسترده:Extended source

چشمه ای که زاویه دیدی بزرگتر از a_{min} ایجاد کند، چشمه گسترده است. چشمه های گسترده، به چشمه های متوسط و چشمه های بزرگ تقسیم بندی می شوند.

۲-٦ چشمه متوسط: Intermediate source

چشمه گسترده ای که در محل چشم، زاویه دیدی بین a_{min} و a_{max} ایجاد می کند، چشمه متوسط در نظر گرفته می شود.

۲-۷ چشمه نقطه ای:Point source

چشمه نقطه ای چشمه ای است که زاویه دید کمتر از ۱/۵ میلی رادیان (mrad)، a_{min} ، ایجاد کند.

۲-۸ دز تابشی: Radiant exposure

چنانچه شدت تابش در مدت پرتوگیری ثابت باشد، دز تابشی از معادله زیر به دست می آید:

$$H = E\ t_1 \qquad (۱)$$

که در آن:

H دز تابشی بر حسب ژول بر متر مربع ($J\ m^{-۲}$)؛

E شدت تابش بر حسب وات بر متر مربع ($W\ m^{-۲}$)؛ و

$t_۱$ مدت زمان پرتوگیری بر حسب ثانیه (s) است.

۲-۹ دز تابشی قرنیه: Corneal radiant exposure

در تابشی قرنیه از تقسیم کل انرژی عبور کننده از دریچه ۷ میلی متری (مقدار مؤثر "انرژی کل ورودی به چشم") بر مساحت دریچه تعیین می شود.

۲-۱۰ دز تابندگی:Radiance dose

چنانچه تابندگی در مدت پرتوگیری ثابت باشد، دز تابندگی از فرمول زیر به دست می آید:

$$D = L\ t_1 \qquad (۴)$$

که در آن:

D دز تابندگی بر حسب ژول بر متر مربع بر استرادیان ($J\ m^{-۲}\ sr^{-۱}$)؛

L تابندگی بر حسب وات بر متر مربع بر استرادیان ($W\ m^{-۲}\ sr^{-۱}$)؛ و

$t_۱$ مدت زمان پرتوگیری بر حسب ثانیه (s) است.

۲-۱۱ زاویه پذیرش: Acceptance angle

زاویه مسطحی برای با نصف زاویه دریچه یک سیستم اپتیکی است.

یادآوری: زاویه پذیرش بر حسب رادیان (rad) یا میلی رادیان (mrad) بیان می شود.

۲-۱۳ زاویه دید بیشینه: Maximum angular subtense

زاویه است که به ازای آن و مقادیر بیشتر از آن، آستانه دز مؤثر تابندگی/دز مؤثر تابشی برای آسیب دیدن شبکیه به تغییرات زاویه دید، بستگی ندارد. مقادیر a_{max} در جدول ۱ آمده است.

جدول (۱) مقادیر a_{max} بر حسب ثانیه

a_{max} (rad)	t (s)
۰/۰۰۵	$t < ۶۲۵ \times ۱۰^{-۶}$
۰/۲ $t^{۰/۵}$	$۶۲۵ \times ۱۰^{-۶} \leq t < ۰/۲۵$
۰/۱	$t \geq ۰/۲۵$
توجه: مقدار t باید بر حسب ثانیه جایگزین شود تا مقدار a_{max} بر حسب رادیان به دست آید.	

۲-۱٤ زاویه دید کمینه:Minimum angular subtense

کمترین زاویه دید منبع است که چشم می تواند تفکیک کند. همچنین زاویه ای است که به ازای آن و مقادیر کمتر از آن، ابعاد تصویر تشکیل شده روی شبکیه کمترین مقدار را خواهد داشت. زاویهٔ دید رادیان را زاویه دید $۱/۵ \times ۱۰^{-۳}$ کمینه می نامند ($a_{min} = ۱/۵ \times ۱۰^{-۳}$ rad =۱/۵ mrad).

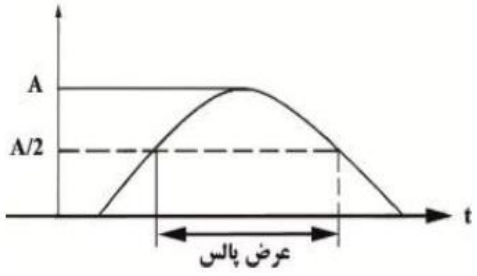
۲-۱٦ شدت تابش: Irradiance

توان تابیده شده به واحد سطح در یک نقطه را شدت تابش (E) در آن نقطه می نامند. به عبارت دیگر، شدت تابش در یک نقطه نسبت توان تابیده شده به جزئی از یک سطح به مساحت آن جزء است.

یادآوری: یکای شدت تابش در دستگاه بین المللی یکاها وات بر مترمربع ($W\ m^{-۲}$) است.

۲-۱۷ عرض پالس: Pulse duration

مدت زمانی است که طول می کشد تا دامنه پالس از نصف مقدار پیک به مقدار پیک رسیده و دوباره به نصف آن کاهش یابد. در شکل ۳ عرض پالس نمایش داده شده است.



شکل ۳- نحوه تعیین عرض پالس

۳ حدود پرتوگیری

حدود پرتوگیری به طول موج، مدت[11] پرتوگیری (عرض پالس)، و در بعضی موارد قطر شدت تابش[12] (اندازه تصویر) بستگی دارد.

حد پرتوگیری به عنوان تابعی از طول موج، $EL(\lambda)$، طبق معادله ۷، به صورت حاصل ضرب حد پرتوگیری برای طول موجی که حد پرتوگیری کمترین مقدار را دارد، EL_{min} و ضریب تصحیح طیفی بیان می شود.

$$EL(\lambda) = EL_{min} \times \text{ضریب تصحیح طیفی} \qquad (۷)$$

مقدار کمترین حد پرتوگیری EL_{min} و ضریب تصحیح طیفی به بافتی که پرتوگیری می کند (پوست یا چشم) وابسته است و در بند "حدود پرتوگیری" (بندهای ۶ و ۷) ارائه خواهد شد.

[11] . Duration
[12] . Irradiance

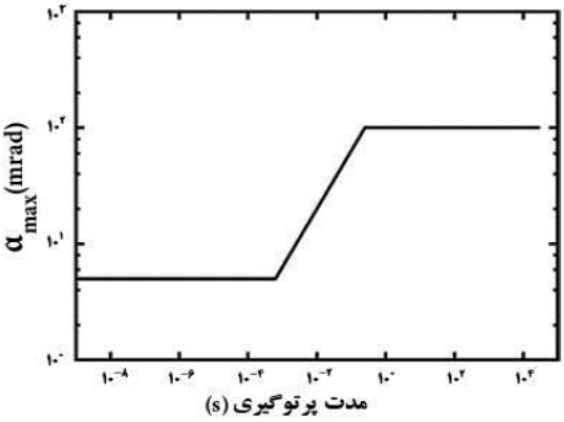
٤ عوامل مؤثر بر حدود پرتوگیری

٤-١ اندازه تصویر

عملکرد بیشتر چشمه های لیزری نظیر چشمه های نقطه ای است، یعنی روی شبکیه تصویر گسترده ایجاد نمی کنند. هر چند در موارد کمی مثلاً در هنگام مشاهده انعکاس پخشی[۱۳] ، آرایه هایی از دیودهای لیزری، یا چشمه لیزری پخشی[۱۴]، شرایط چشمه گسترده غالب می شود.

به منظور تعیین حدود پرتوگیری، چشمه های گسترده را باید در دو گروه چشمه های متوسط و چشمه های بزرگ قرار داد. آستانه های آسیب شبکیه برای چشمه های متوسط به اندازه تصویر بستگی دارد. هنگامی که اندازه تصویر به اندازه کافی بزرگ باشد، وابستگی به اندازه تصویر اندک است. این موضوع با زاویه دید بیشینه، a_{max} مرتبط است.

برای چشمه های متوسط، آستانه آسیب شبکیه در اثر پخش شعاعی گرما[۱۵]، تابعی از اندازه تصویر روی شبکیه است. اگر قطر تصویر روی شبکیه بزرگتر از یک مقدار بحرانی که منجر به بروز a_{max} می گردد شود، پخش شعاعی گرما، در صورتی که به صورت دز تابشی شبکیه داده شود، بر آستانه آسیب تأثیر نمی گذارد. از آنجا که گستردگی پخش شعاعی گرما به زمان بستگی دارد، a_{max} نیز به عرض پالس بستگی دارد و از مقدار ۵ میلی رادیان (۰/۳ °) برای پالس کوتاه تا ۱۰۰ میلیون میلی رادیان (۵/۷ °) برای پرتوگیری های موج پیوسته، CW، افزایش می یابد (به شکل ۴ و جدول ۱ مراجعه شود).



شکل ۴- نمودار بستگی زاویه بحرانی ایجاد شده برای چشمه های متوسط، a_{max}، به مدت پرتوگیری

[13] . Diffuse reflection
[14] . Diffused laser source
[15] . Radial heat flow

ضریب تصحیح، C_E (جدول ۵) برای شرایط مشاهده چشمه های گسترده به کار می رود، مثلاً برای انعکاس پخشی در محدوده ۴۰۰ الی ۱۴۰۰ نانومتر که نشان می دهد چنانچه زاویه دید چشمه، در چشم مشاهده کننده، از a_{min} بزرگتر باشد، حدود پرتوگیری می توانند افزایش یابند (a_{min} برابر با ۱/۵ میلی رادیان است).
برای چشمه های بزرگ، در صورتی که برای تعیین سطح پرتوگیری میدان دید $\gamma = \boldsymbol{a_{max}}$ به کار رود، ضریب تصحیح C_E معادل با a_{max}/a_{min} خواهد شد. برای یک چشمه همگن[16] و دایره ای شکل، سطح پرتوگیری می تواند با یک میدان دید باز[17] تعیین شود، و در این صورت ضریب تصحیح، C_E، با معادله ۸ بیان می شود.

$$C_E = \frac{a^2}{a_{min}\, a_{max}} \qquad (۸)$$

یادآوری: چشمه های غیردایره ای
برای یک چشمه غیر دایره ای، a برابر با میانگین عددی دو زاویه a برای کوچک ترین و بزرگترین بعد سطح مقطع تصویر است. در هنگام تعیین میانگین حسابی، هر دو بعد باید محدود به a_{min} و a_{max} باشد.

٤-۲ مدت پرتوگیری

برای تعیین حد پرتوگیری با یک لیزر خاص لازم است که طول موج لیزر و مدت پرتوگیری معلوم باشد. برای پرتوگیری از یک تک پالس، این مدت زمان برابر با عرض پالس در نظر گرفته می شود (به شکل ۳ مراجعه شود). ولی در شرایط پرتوگیری پی در پی یا طولانی، از معیارهای زیر استفاده می شود.
برای پرتوگیری از یک تک پالس لیزر، مدت پرتوگیری برابر با عرض یک پالس، t است که در بالا تعریف شده است. در مورد تمامی حدود پرتوگیری برای پوست، و همچنین برای چشم در طول موج های نامرئی یا به سختی قابل دیدن، کمتر از ۴۰۰ nm یا بیشتر از ۷۰۰ nm، مدت پرتوگیری برای لیزرهای موج پیوسته با حداکثر زمان پیش بینی شده برای قرارگرفتن در معرض پرتو مستقیم، T_{max}، برابر است. در مورد پرتوگیری چشم از هرگونه لیزر پیوسته، مدت پرتوگیری با حداکثر مدت زمان پیش بینی شده برای نگاه کردن مستقیم به باریکه برابر است. اما اگر هدف نگاه کردن به باریکه لیزر مرئی با طول موج ۴۰۰ الی ۷۰۰ نانومتر نیست، مدت پرتوگیری ۰/۲۵ ثانیه در نظر گرفته می شود. در مورد پرتوگیری چشم در ناحیه فروسرخ نزدیک، ۷۰۰ الی ۱۴۰۰ نانومتر، در نظر گرفتن حداکثر زمان پرتوگیری برابر با ۱۰ s معیاری به اندازه کافی سختگیرانه برای شرایط دید غیرعمدی است. در این شرایط، حرکات چشم به طور طبیعی پرتوگیری را محدود می کند و در نتیجه در نظر گرفتن مدت زمان های طولانی تر از ۱۰ s به جز در شرایط غیرعادی ضرورت ندارد. در

[16] . Homogeneous
[17] . Openfield of view

کاربردهای خاص، مانند پرتوگیری عمدی از تجهیزات پزشکی به منظور تشخیص، پرتوگیری های طولانی تر نیز ممکن است اعمال شود.

به دلیل موجود نبودن اطلاعات در مورد آستانه بیولوژیکی آسیب شبکیه برای پالسهایی که عرض آنها کمتر از fs ۱۰۰ است، پیشنهاد شده است که در هر طول موج مورد نظر، حداکثر شدت تابش به حد پرتوگیری برای پالس های با عرض fs ۱۰۰، محدود شود. در حال حاضر، به علت موجود نبودن اطلاعات بیولوژیکی، حدود پرتوگیری برای پوست برای مدت زمان پرتوگیری کمتر از یک نانوثانیه ارائه نشده است. اگرچه به عنوان یک پیشنهاد محتاطانه اولیه، می توان پرتوگیری را به ۱۰٪ حدود پرتوگیری مربوط به یک نانوثانیه محدود نمود. همچنین، حدود پرتوگیری برای چشم برای طول موج های کمتر از nm ۴۰۰ و بیشتر از nm ۱۴۰۰ برای پالس های با عرض کمتر از یک نانوثانیه، ارائه نشده است و مشابه با آنچه برای پوست گفته شد، پیشنهاد محتاطانه اولیه محدود کردن پرتوگیری به ۱۰٪ حدود پرتوگیری مربوط به یک نانوثانیه است.

C_p ضریب تصحیحی است که برای منظور کردن جمع پذیری پالس های چندگانه برای آسیب های گرمایی به کار می رود؛ به بند "پرتوگیری های تکرار شوند" (بند ۹) مراجعه شود.

۵ کمیت های مورد استفاده در تعیین مقادیر پرتوگیری

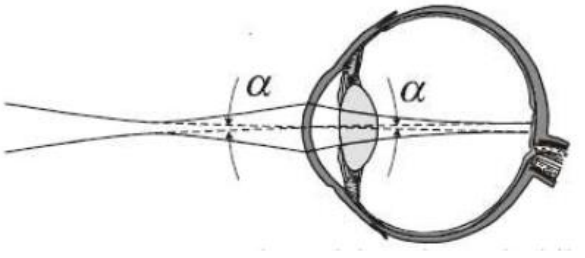
۵-۱ اندازه تصویر روی شبکیه

در محدوده ۴۰۰ الی ۱۴۰۰ نانومتر، یعنی "ناحیه طول موج های خطرناک برای شبکیه"، حد پرتوگیری چشمی برای آسیب ناشی از گرمای شبکیه به زاویه دید چشمه ظاهری، α، بستگی دارد.

α زاویه صفحه ای است که توسط چشمه ظاهری در موقعیت معین چشم در مسیر باریکه ایجاد می شود (به شکل ۱مراجعه شود). زاویه دید چشمه ظاهری زاویه ای است که توسط کوچکترین تصویر تشکیل شده روی شبکیه، با در نظر گرفتن تطابق[۱۸] چشم می تواند ایجاد شود (دامنه تطابق در ایمنی لیزر از ۱۰ سانتی متر تا بی نهایت فرض می شود).

برای باریکه های گوسی (TEM_{00})، مرکز انحنای جبهه موجی[۱۹] که به چشم برخورد می کند مکان چشمه ظاهری است. در این مکان، قطر باریکه می تواند به عنوان قطر چشمه در نظر گرفته شود که زاویه α را برای مکان پرتوگیری چشم در باریکه تعیین می کند. از آنجا که در نقاط مختلف باریکه، انحنای جبهه موج متفاوت است، مکان چشمه ظاهری نیز تغییر می کند. بنابراین نمی توان برای یک باریکه معین، چشمه ظاهری مشخصی را تعیین کرد، زیرا موقعیت و قطر چشمه ظاهری می توانند به مکان تعیین آن بستگی داشته باشد.

برای باریکه های دارای واگرایی کم، مکان چشمه ظاهری در بی نهایت و α برابر با واگرایی باریکه است. هر چند که زاویه α نباید با واگرایی باریکه اشتباه شود. زاویه دید چشمه ظاهری برای باریکه لیزری که به چشم برخورد می کند هیچوقت نمی تواند بزرگتر از واگرایی باریکه لیزر باشد، اما می تواند کوچکتر باشد (به شکل ۵ مراجعه شود). در علم اپتیک تمایز بین یک چشمه نقطه ای و چشمه گسترده مرسوم است. در متن های مرتبط با زمینه ایمنی لیزر، چشمه های گسترده به چشمه های گسترده متوسط[۲۰] و چشمه های گسترده بزرگ[۲۱] تقسیم می شوند که به اختصار چشمه های بزرگ و چشمه های متوسط خوانده می شوند.



[18] . Accommodation
[19] . Wave front
[20] . Intermediate extended sources
[21] . Large extended sources

شکل ۵- پارامتر a برای یک موقعیت مکانی معین چشم در باریکه، زاویه ای که چشمه ظاهری می سازد به نحوی که با تطابق چشمی، مقطع باریکه روی شبکیه به کوچکترین مقدار ممکن برسد. این شکل برای تطابق با فاصله ای بسیار نزدیک به چشم و با این فرض که چشم با هوا پر شده ساده سازی شده است.

۵-۲ دریچه های محدود کننده برای تعیین مقدار متوسط پرتوگیری

حدود پرتوگیری بر اساس شدت تابش (یا دز تابشی) بیان می شود. بسته به شکل فضایی باریکه، مقدار شدت تابش اندازه گیری شده ممکن است به قطر دریچه محدود کننده بستگی داشته باشد.

برای شبکیه، با توجه به قطر یک مردمک باز، قطر دریچه برای متوسط گیری برابر با ۷ mm تعیین شده است. هنگام استفاده از دریچه های کوچک مشکلاتی روی می دهد؛ از جمله: زمان بیشتری برای ارزیابی پرتوگیری لازم است، دستگاه اندازه گیری باید از حساسیت بالاتری برخوردار باشد، مسائل کالیبراسیون منجر به عدم قطعیت های بالقوه می شود و محاسبات می تواند دشوارتر باشد.

به منظور توضیح دادن دریچه های متوسط گیری، نقاط داغ کوچک تابشی در اثر تمرکز نور که در باریکه پهن تری قرار دارند باید تشخیص داده شوند. با در نظر گرفتن آنها، دریچه های متوسط گیری که در زیر توضیح داده می شوند، در صورتی که قطر باریکه از دریچه متوسط گیری خیلی کوچک تر نباشد، همچنان برای شرایط نقاط داغ کوچک تابش نیز معتبر هستند.

در صورت پراکنده شدن نور در بافت از نظر بیولوژیکی، دریچه یک میلی متری انتخاب می شوند. بنابر این در شرایط پرتوگیری پالسی قرنیه و زجاجیه با پرتوهای فرابنفش و فروسرخ با طول موج های بیشتر از μm ۱/۴، دریچه یک میلی متری پیشنهاد می شود.

دریچه متوسط گیری ۳/۵ mm برای هر دو حالت پرتوگیری پالسی و پیوسته پوست که پراکندگی نور بیشتر روی می دهد، توجیه پذیر به نظر می رسد. به علاوه، برای پرتوگیری پیوسته چشم، و همچنین پوست، جریان گرما، حرکت های بدن، و پراکندگی سبب می شود که وقوع هرگونه اثر مخرب ناشی از "نقاط داغ" کوچک تر از ۳/۵ mm، منتفی شود. برای پرتوگیری پیوسته قرنیه و زجاجیه با پرتوهای فرابنفش با طول موج های کمتر از ۴۰۰ نانومتر نیز شرایط به همان گونه است. علاوه بر این، دو عامل که در مورد تغییرات شدت تابش باریکه در یک محل در نظر گرفته می شوند، یعنی "نقاط داغ" ناشی از تحریک هوا توسط جرقه و مد خاص در لیزرهای دارای مدهای متعدد، به ندرت در شدت های تابش موضعی بسیار زیاد در سطوح با قطر کم تر از ۳/۵ mm منظور می شوند.

مشکل دیگر در ناحیه فروسرخ دور در طول موج های بالاتر از μm ۱۰۰ بروز می کند، به این صورت که با دریچه یک میلی متری پراش[۲۲] قابل توجهی ایجاد می شود و کالیبراسیون دشوار می گردد. خوشبختانه، به

[22] . Diffraction

دلایل فیزیکی، نقاط داغ در طول موج های بلند وسیع تر می شوند، و لذا در طول موج های بیشتر از μm ۱۰۰، قطردریچه های حدود mm ۱۱ یا مساحت آنها تقریباً یک سانتی متر مربع تعیین می شود.
قطر دریچه های محدود کننده مورد استفاده در تعیین پرتوگیری متوسط به طور خلاصه در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- قطر دریچه های محدودکننده مورد استفاده در تعیین پرتوگیری متوسط

محدود طول موج nm	مدت پرتوگیری، t s	قطر دریچه های محدودکننده براساس ناحیه پرتوگیری	
		چشم mm	پوست mm
$۱۸۰ \leq \lambda < ۴۰۰$	$۱/۰\ ns - ۰/۳۵\ S$	۱/۰	۳/۵
	$۰/۳۵\ ns - ۱۰\ S$	$۱/۵t^{۰/۳۷۵}$	۳/۵
	$۱۰S$-$۳۰\ KS$	۳/۵	۳/۵
$۴۰۰ \leq \lambda < ۱۴۰۰$	$۱\ ns$ -$۳۰\ KS$	۷/۰	۳/۵
$۱۴۰۰ \leq \lambda < ۱۰^{۵}$	$۱/۰\ ns - ۰/۳۵\ S$	۱/۰	۳/۵
	$۰/۳۵\ ns - ۱۰\ S$	$۱/۵t^{۰/۳۷۵}$	۳/۵
	$۱۰S$-$۳۰\ KS$	۳/۵	۳/۵
$۱۰^{۵} \leq \lambda < ۱۰^{۶}$	$۱/۰\ ns$ -$۳۰\ KS$	۱۱	۱۱

برای قطر مردمک کمتر از $۷mm$ به علت کاهش انرژی وارد شده به چشم، هیچگونه تغییر اصلاحی در حدود پرتوگیری مجاز نیست.
برای باریکه هایی با قطر کمتر از یک میلی متر که به قرنیه یا پوست برخورد می کنند، عاقلانه است که مقدار واقعی شدت تابش تعیین شود. در حالتی که قطر باریکه به نحو قابل توجهی از دریچه متوسط گیری کم تر است، نمی توان از این واقعیت که با رسیدن مقدار شدت تابش متوسط به حد پرتوگیری، اثرات گرمایی کمتری ظاهر می شود، چشم پوشی کرد. در شرایطی که قطر باریکه از یک میلی متر کمتر است، به منظور پیشگیری از آسیب دیدن پوست، لازم است که مقدار واقعی شدت تابش تعیین شود و با حد پرتوگیری مقایسه شود. با استفاده از تقریب گوسی، فاصله بین دو نقطه در طرفین محور باریکه که در آن نقاط شدت تابش ۱/e برابر یا ۰/۳۷ ، مقدار بیشینه شدت تابش است به عنوان قطر باریکه در نظر گرفته می شود.

۳-۵ زاویه پذیرش

در مورد حدود پرتوگیری برای شبکیه، برای منابع گسترده، مقدار زاویه پذیرش رادیومتر (وسیله اندازه گیری)، روی مقدار پرتوگیری تأثیرگذار است.

برای منابع نقطه ای، زاویه پذیرش گیرنده، γ، حداقل باید برابر با a_{min} باشد. برای منابع گسترده باید بین کاربردهای حدود فتوشیمیایی و فتوگرمایی تفاوت قائل شد.

زمانی که حدود پرتوگیری برای منابع بزرگ یکنواخت براساس تابندگی بیان می شود، هم برای حدود فتوشیمیایی و هم برای حدود گرمایی، زاویه پذیرش می تواند به بزرگی a باشد. مقادیر مجاز برای زاویه پذیرش در جدول ۳ ارائه شده است. سایر موارد در بندهای بعدی به تفکیک برای حدود گرمایی و حدود فتوشیمیایی بررسی خواهد شد.

جدول ۳- مقادیر زاویه پذیرش

زاویه پذیرش a_γ **mrad**	زمان پرتوگیری	کمیت مورد بررسی	نوع اثر	نوع منبع
$\geq a_{min}b$	تمامی مقادیر	شدت تابش تابندگی	گرمایی فتوشیمیایی	نقطه ای
a	تمامی مقادیر	تابندگی	گرمایی فتوشیمیایی	بزرگ یکنواخت
$\geq a$	تمامی مقادیر	شدت تابش	فتوگرمایی	متوسط یکنواخت
به اندازه کافی کوچک $a_{min} \leq \gamma \leq a_{max}$	تمامی مقادیر	شدت تابش	فتوگرمایی	متوسط غیریکنواخت
$\geq a$	۱۰ s – ۱۰ Ks	شدت تابش	فتوشیمیایی	$a \leq ۱۱\ mrad$
۱۱	۱۰ s – ۱۰۰ s	شدت تابش	فتوشیمیایی	$a > ۱۱\ mrad$
۱/۱ t ۰/۵	۱۰۰ s – ۱۰ Ks			
۱۱۰	۱۰ Ks – ۳۰ Ks			

a در ادامه متن، زاویه پذیرش برای اثر فتوشیمیایی با نماد γ_{ph} و برای اثر گرمایی با نماد γ_{Th} نشان داده شده است.

b منظور از a ، زاویه دید منبع نور است.

۱-۳-۵ حدود گرمایی

به منظور مقایسه تابش چشمه متوسط یکنواخت و حدود فتوگرمایی بر حسب شدت تابش، زاویه پذیرش باید حداقل به بزرگی a باشد.

چنانچه منبع از نوع غیر یکنواخت یعنی دارای نقاط داغ باشد، زاویه پذیرش باید به اندازه کافی کوچک انتخاب شود که نقاط داغ را بتوان ارزیابی کرد، اما نباید از ۱/۵ میلی رادیان کمتر و از a_{max} بزرگ تر باشد. برای هر

نقطه داغ یا هر قسمت غیر همگن منبع، که با زاویه پذیرش γ ارزیابی شده است، تابش باید با حد مرتبط با یک منبع فرعی به ابعادی که زاویه دید آن (a) با زاویه پذیرش (γ) برابر باشد، مقایسه شود. اندازه و محل زاویه پذیرش γ برای یک منبع معلوم باید طوری تنظیم شود که محدود کننده ترین تحلیل صورت گیرد (یعنی نسبت مقدار انرژی تعیین شده با زاویه γ روی a حداکثر باشد).

۲-۳-۵ حدود فتوشیمیایی

برای مقایسه تابش منابع با زاویه دید کمتر از ۱۱ میلی رادیان با حدود فتوشیمیایی، بر حسب شدت تابش، و برای تمامی دوره های پرتوگیری (۱۰ s – ۳۰ ks) می توان از هر زاویه پذیرشی که بزرگتر از زاویه دید منبع باشد، استفاده کرد. برای منابع با زاویه دید بزرگتر از ۱۱ میلی رادیان و زمان پرتوگیری بین ۱۰ و ۱۰۰ ثانیه، از زاویه پذیرش γ معادل با ۱۱ $mrad$ =γ_{ph} استفاده می شود. برای زمانهای پرتوگیری بین ۱۰۰ s و ۱۰ ks، زاویه پذیرش، γ ، به طور خطی با زمان افزایش می یابد و زاویه راس مخروطی را تعیین می کند که شدت تابش در فضای داخل آن مخروط اندازه گیری می شود. به خصوص در شرایطی که مدت زمان پرتوگیری بین ۱۰۰ s و ۱۰ ks، است و اندازه منبع است، برای مقایسه نتیجه با حد پرتوگیری بر حسب شدت تابش، باید از زاویه پذیرش γ_{ph} = ۱/۱ × $t^{-0.5}$ $mrad$ استفاده کرد. برای منابعی که زاویه دید آنها از ۱۱ میلی رادیان بزرگتر است و مدت زمان پرتوگیری بین ۱۰ ks و ۳۰ ks است، زاویه پذیرش برای حدودی که بر حسب شدت تابش بیان شده است باید ۱۱۰ میلی رادیان باشد. زاویه رأس مخروط برابر با ۱۱ یا ۱۱۰ میلی رادیان به ترتیب تقریباً با زاویه فضایی برابر با 10^{-4} یا 10^{-2} استرادیان معادل است.

٦ حدود پرتوگیری چشم

حدهای پرتوهای چشم همواره در ارتباط با صفحه قرنیه ای عمود بر محور اپتیکی چشم مشخص می شوند. برای آسیب های شبکیه ناشی از گرما و ناشی از آثار فتوشیمیایی حدود پرتوگیری جداگانه ای بر حسب طول موج، مدت عرض پالس، و اندازه تصاویر مختلف تعیین می شود. پرتوگیری از تابش لیزر مرئی باید کمتر از هر دو حد باشد. حد فتوشیمیایی شبکیه، EL_B، در طول موج معین، λ عبارت است از حاصلضرب کمترین حد پرتوگیری برای آسیب فتوشیمیایی، $EL_{B:min}$، در ضریب تصحیح طیفی برای آسیب فتوشیمیایی، $C_B(\lambda)$ (به شکل۶ مراجعه شود):

$$EL_B = EL_{B.min} C_B(\lambda) \qquad (۹۱)$$

ضریب تصحیح، C_B (به شکل ۶ و جدول ۴ مراجعه شود) که برای ۴۰۰ $nm < \lambda \leq$ ۶۰۰ nm تعریف شده است، با نحوه وابستگی آسیب شبکیه ناشی از اثرات فتوشیمیایی به طور موج مرتبط است.

در محدوده ۷۰۰ الی ۱۴۰۰ نانومتر برای آسیب های ناشی از گرمای شبکیه توسط چشمه نقطه ای، حد پرتوگیری، EL_{Th}، عبارت است از حاصل ضرب کمترین حد پرتوگیری $EL_{Th:min}$ در آن محدوده (که حد پرتوگیری برای محدوده طول موج مرئی است) در ضریب تصحیح ترکیبی[۲۳]، $C_A(\lambda)C_C(\lambda)$:

$$EL_{Th} = EL_{Th:min}C_A(\lambda)C_C(\lambda) \qquad (۱۰)$$

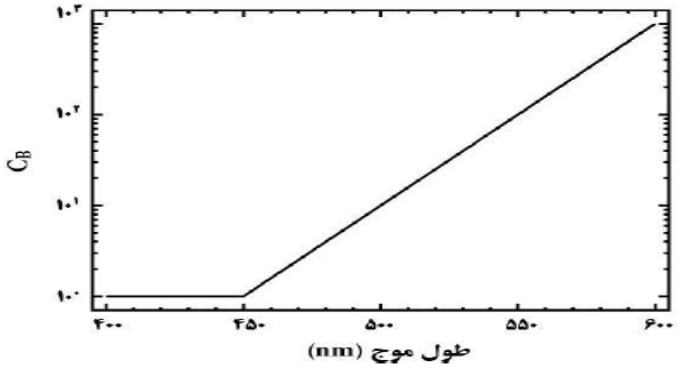
ضریب تصحیح، C_A (به شکل ۷ و جدول ۴ مراجعه شود)، که برای $۴۰۰\ nm < \lambda \leq ۱۴۰۰\ nm$ تعریف شده است، با نحوه وابستگی جذب پیگمنت اپیتلیوم[۲۴] در شبکیه به طول موج مرتبط است و برای حدود پرتوگیری پوست نیز به کار می رود.

ضریب تصحیح، C_C (به شکل ۷ و جدول ۴ مراجعه شود)، که برای $۷۰۰\ nm < \lambda \leq ۱۴۰۰\ nm$ تعریف شده است، براساس وابستگی عبور محیط شفاف پیش – شبکیه به طول موج است.

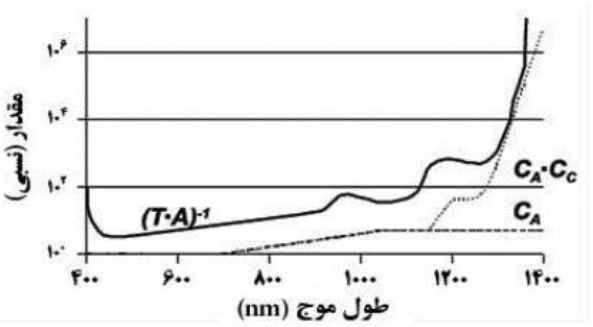
جدول۴- ضرایب تصحیحی که در حدهای پرتوگیری در ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک به کار رفته اند

$C_A = ۱/۰$	برای	$۴۰۰\ nm \leq \lambda < ۷۰۰\ nm$
$C_A = ۱۰^{\,۰/۰۰۲(\lambda\ /۱\ nm - ۷۰۰)}$	برای	$۷۰۰\ nm \leq \lambda < ۱۰۵۰\ nm$
$C_A = ۵/۰$	برای	$۱۰۵۰\ nm \leq \lambda \leq ۱۴۰۰\ nm$
$C_A = ۱/۰$	برای	$۴۰۰\ nm \leq \lambda < ۴۵۰\ nm$
$C_A = ۱۰^{\,۰/۰۲(\lambda\ /۱\ nm - ۴۵۰)}$	برای	$۴۵۰\ nm \leq \lambda \leq ۶۰۰\ nm$
$C_C = ۱/۰$	برای	$۷۰۰\ nm \leq \lambda < ۱۱۵۰\ nm$
$C_C = ۱۰^{\,۰/۰۱۸(\lambda\ /۱\ nm - ۱۱۵۰)}$	برای	$۱۱۵۰\ nm \leq \lambda < ۱۲۰۰\ nm$
$C_C = ۸ + ۱۰^{\,۰/۰۴(\lambda\ /۱\ nm - ۱۲۵۰)}$[a]		$۱۲۰۰\ nm \leq \lambda \leq ۱۴۰۰\ nm$
[a] با رسیدن طول موج به ۱۴۰۰ نانومتر، C_C بزرگ می شود. اما، حد پرتوگیری محاسبه شده براساس جدول ۷ باید با حد پرتوگیری پوست یا دو برابر پرتوگیری پوست بر مبنای زیرنویس c جدول ۷ مقایسه شود. مقدار کمتر بین این دو حد، اعمال می شود.		

[23] . Combined
[24] . Pigment epithelium



شکل ۶- ضریب تصحیح C_B، بستگی آسیب ناشی از آثار فتوشیمیایی شبکیه به طول موج برای پرتوگیری های طولانی تر از ۱۰ ثانیه در محدوده طول موج مرئی را نشان می دهد.



شکل ۷- مقایسه بستگی طیفی ضرایب تصحیح C_A و C_C به میزان جذب طیفی مؤثر نسبی در RPE[۲۵]. عکس حاصلضرب جذب در RPE و عبور از محیط پیش – شبکیه، $(T.A)^{-1}$ (خط پیوسته) نشان دهنده انرژی جذب شده در RPE نسبت به انرژی وارد شده به چشم است. ضریب تصحیح طیفی، C_A (خط چین)، تخمینی است از عکس جذب RPE (A). حاصلضرب ضریب تصحیح طیفی C_A و ضریب تصحیح طیفی C_C به صورت نقطه چین رسم شده است. ضریب تصحیح طیفی C_C تخمینی است از عکس عبور طیفی از محیط پیش شبکیه چشمی، T. ضریب تصحیح C_C در محدوده طول موج های ۱۱۵۰ الی ۱۴۰۰ نانومتر که در آن محیط عدسی چشم به طور فزاینده ای کدر می شود، افزایش می یابد.

پرتوگیری از باریکه های همگرا شده[۲۶] لیزر در محدوده طول موج های ۴۰۰ الی ۱۴۰۰ نانومتر کم ترین اندازه تصویر را روی شبکیه ایجاد می کند (چشمه نقطه ای). برای یک توان معین، این شرط پرتوگیری منجر به کم ترین حد برای آستانه آسیب می شود. بنابراین، حدود پرتوگیری برای آسیب شبکیه ناشی از گرما با پیش شرط کوچک ترین چشمه[۲۷] بیان می شود. پرتوگیری از چشمه های گسترده با یک ضریب تصحیح، C_E، که به زاویه دید[۲۸] دید[۲۹] چشمه ظاهری، α ، بستگی دارد بیان می شود. (به معادله ۱۱ مراجعه شود که برای طول موج های بزرگتر از ۱۰۵۰ نانومتر اعمال می شود).

$$EL_{Th} = EL_{Th;min} C_{A\ or\ C}(\lambda) C_E(\alpha) \qquad (۱۱)$$

ضریب تصحیح C_E (جدول ۵) برای لحاظ کردن تغییرات آستانه آسیب با اندازه تصویر، که با زاویه چشمه ظاهری مشخص می شود، به کار می رود (شکل ۴).

حدود پرتوگیری به صورت حاصلضرب C_E در حدود پرتوگیری چشمه نقطه ای (یعنی "پیش فرض" یا بدترین شرایط برای مشاهده یک چشمه لیزری) بیان می شود.

---

[25] . Retinal pigmented epithelial
[26] . Collimated
[27] . Minimum source
[28] . Angular subtense
[29] . Field of view

جدول ۵- ضریب تصحیح برای لحاظ کردن تأثیر اندازه چشمه

برای چشمه هایی که زاویه a (بر حسب $mrad$) را ایجاد می کنند		
$C_E = ۱/۰$	برای	$\alpha \leq a_{min}$
$C_E = a/a_{min}$	برای	$a_{min} \leq a \leq a_{max}$
$C_E = a_{max}/a_{min}$	برای	$a(\gamma = a_{max}$ یا $a \geq a_{max})$
a_{max} = ۵ $mrad$ $a_{max} = ۲۰۰t^{-۰/۵}$ $mrad$ a_{max} = ۱۰۰ $mrad$ a_{max} = ۱/۵ $mrad$	برای برای برای	$t(s)$ که در آن، برای مدت پرتوگیری: $t < ۶۲۵\ \mu s^b$ $۶۲۵\ \mu s \leq t \leq ۰/۲۵S$ که در آن t، عدد مدت پرتوگیری بر حسب ثانیه و بدون واحد است $t > ۰/۲۵S$

a توجه: برای $\alpha > a_{max}$ حد پرتوگیری می تواند بر حسب تابندگی بیان شود. نماد γ به اندازه گیری میدان دید (زاویه پذیرش) بر می گردد.

t^b عدد مدت پرتوگیری بر حسب ثانیه و بدون واحد است.

برای پرتو مرئی و فروسرخ نزدیک، حد پرتوگیری می تواند بر حسب مقادیر توان یا انرژی عبور کننده از یک دریچه ۷ میلی متری نیز بیان شود.

برای تعیین حدود پرتوگیری از چشمه های متوسط،کمیتهای شدت تابش($W\ m^{-۲}$) ودز تابشی ($J\ m^{-۲}$) به کار می روند. این حدود بر حسب توان یا انرژی هم می توانند بیان شوند، یعنی پرتوگیری به صورت توان یا انرژی عبور کننده از یک دریچه ۷ میلی متری، با در نظر گرفتن برخی اصول مرتبط با زاویه پذیرش (به بند ۵ مراجعه شود) تعیین می شود.

برای چشمه های بزرگ، آستانه آسیب شبکیه وقتی که به صورت تابندگی در شبکیه بیان می شود، اساسا مستقل از اندازه تصویر است. حدود پرتوگیری برای چشمه‌های بزرگ در زوایای بزرگتر از a_{max} می توانند با کمیت های متفاوتی، یعنی تابندگی[۳۰] ($Wm^{-۲}\ sr^{-۲}$) و انتگرال زمانی تابندگی[۳۱] (دز تابندگی) با واحد ($Jm^{-۲}\ sr^{-۱}$) بیان شوند.

[30] . Radiance
[31] . Time-integrated radiance

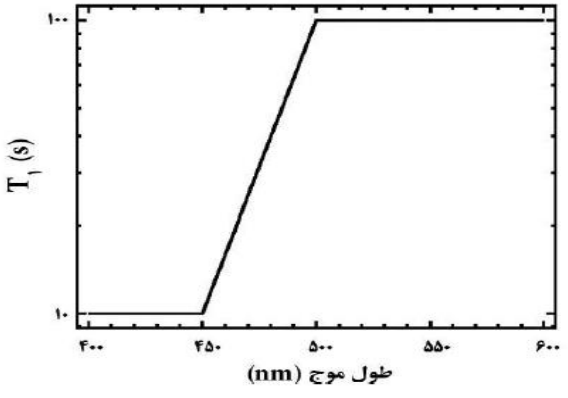
حدود پرتوگیری برای چشم در جدول های ۷ و ۸ و مقادیر پارامترهای به کار رفته در این جدول ها، در جداول ۳، ۴ و ۵ آمده است. به منظور محدود کردن میزان پرتو رسیده به قرنیه حدود پرتوگیری برای شدت تابش یا دز تابشی با متوسط گیری روی دریچه ای با قطر ۷ میلی متر ارائه شده است و در عین حال حدود دیگری برای شبکیه براساس میانگین توان یا انرژی عبوری از دریچه ای با قطر $7mm$ داده شده است.

از آنجا که باریکه های لیزر مانند منابع کوچکی هستند که تصویر بسیار کوچک نقطه ای روی شبکیه ایجاد می کنند، با تعیین حدود پرتوگیری براساس شدت تابش و یا براساس توان یا انرژی عبوری از یک دریچه، اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل بسیار ساده می شود. ارائه حدود پرتوگیری برای آسیب های گرمایی و فتوشیمیایی شبکیه براساس تابندگی یا دز تابندگی نیز امکان پذیر است که چنانچه از میدان دید مناسب برای متوسط گیری به منظور تعیین مقدار تابش استفاده شود، منجر به تجزیه و تحلیل مشابهی می شود. در جدول ۸، حدود معادل برای تابندگی یا دز تابندگی برای آسیب های گرمایی شبکیه در مورد منابع بزرگ $(a > a_{max})$ و همچنین برای آسیب های فتوشیمیایی شبکیه در مورد تمامی منابع با هر ابعادی ارائه شده است.

برای مدت های پرتوگیری کوتاه تر از موارد ارائه شده در جدول های ۷ و ۸ (مثلاً کمتر از یک نانوثانیه در محدوده طول موج فرابنفش)، پرتوگیری باید به مقدار شدت تابش محدود شود که با استفاده از حد پرتوگیری داده شده بر حسب دز تابشی برای مدت پرتوگیری کمتر (مثلاً یک نانوثانیه) محاسبه شده است.

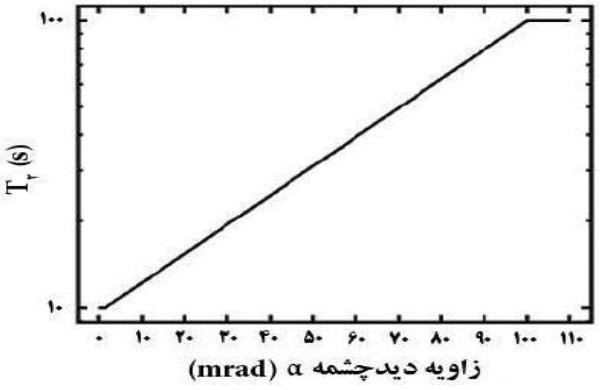
زمان T_1(به جدول ۶ و شکل ۸ مراجعه شود) برای چشمه های کوچک $a \leq a_{min}$ $(C_E = 1/0)$، به کار می رود، و زمان پرتوگیری بحرانی است که برای کمتر از آن حد پرتوگیری گرمایی شبکیه کمتر از حد پرتوگیری فتوشیمیایی است.

در مدت پرتوگیری بیشتر از ۱۰ ثانیه در ناحیه فرابنفش و طول موج کوتاه طیف مرئی، آسیب فتوشیمیایی غالب است.



شکل ۸- نمودار زمان بحرانی پرتوگیری، T_1، بر حسب طول موج.

T_2، زمانی است که در آن افزایش نظری ریسک آسیب گرمایی با افزایش مدت پرتوگیری شبکیه در صورت بی حرکت بودن چشم، توسط حرکات چشم جبران می شود (به شکل ۹ و جدول ۶ مراجعه شود).



شکل ۹- بستگی T_r به زاویه دید چشمه

جدول ۶- مقادیر T_1 و T_2 برای تعیین حدود پرتوگیری

$T_1 = 10\ s$	برای	$\lambda < 450\ nm$
$T_1 = 10 \times 10^{0.02(\lambda / 1\ nm - 450)}\ S$	برای	$450\ nm \leq \lambda < 5500\ nm$
$T_1 = 10\ s$	برای	$\lambda \geq 500\ nm$
$T_2 = 10\ s$	برای	$\alpha < 1.5\ mrad$
$T_2 = 10 \times 10^{(\alpha / 1\ mrad - 1.5) \div 98.5}\ S$	برای	$1.5\ mrad \leq \alpha \leq 100\ mrad$
$T_2 = 100\ s$	برای	$\alpha > 100\ mrad$

جدول ۷- حدود پرتوگیری چشم با پرتوهای لیزری، بیان شده بر حسب شدت تابش برای قرنیه؛ حدود برای شبکیه بر حسب توان یا انرژی عبور کننده از دریچه ای با اندازه *mm* ۷ نیز ارائه شده است. [a و b]

طول موج *nm*	مدت پرتوگیری		حد پرتوگیری شدت تابش یا دز تابشی	توان یا انرژی عبوری از دریچه ۷ میلی متری	محدودیت‌ها
	حد پایین	حد بالا			
فرابنفش					**اندازه دریچه *b*:** **برای *t* < ۰/۳۵*s*** **برابر با ۱ *mm*** **برای ۰/۳۵ *s* <*t*< ۱۰ *s*** **برابر با ۱/۵ *t* ۰/۳۷۵ *mm*** **برای *t* > ۱۰ *s*** **برابر با ۳/۵ *mm***
۱۸۰≤λ<۳۰۲	۱ ns	۳۰ ks	۳۰ J m-۲ *		
۳۰۲ ≤ λ < ۳۰۳	۱ ns	۳۰ ks	۴۰ J m-۲ *		
۳۰۳ ≤ λ < ۳۰۴	۱ ns	۳۰ ks	۶۰ J m-۲ *		
۳۰۴ ≤ λ < ۳۰۵	۱ ns	۳۰ ks	۱۰۰ J m-۲ *		
۳۰۵ ≤ λ < ۳۰۶	۱ ns	۳۰ ks	۱۶۰ J m-۲ *		
۳۰۶ ≤ λ < ۳۰۷	۱ ns	۳۰ ks	۲۵۰ J m-۲ *		
۳۰۷ ≤ λ < ۳۰۸	۱ ns	۳۰ ks	۴۰۰ J m-۲ *		
۳۰۸ ≤ λ < ۳۰۹	۱ ns	۳۰ ks	۶۳۰ J m-۲ *		
۳۰۹ ≤ λ < ۳۱۰	۱ ns	۳۰ ks	۱/۰ kJ m-۲ *		
۳۱۰ ≤ λ < ۳۱۱	۱ ns	۳۰ ks	۱/۶ kJ m-۲ *		
۳۱۱ ≤ λ < ۳۱۲	۱ ns	۳۰ ks	۲/۵ kJ m-۲ *		
۳۱۲ ≤ λ < ۳۱۳	۱ ns	۳۰ ks	۴/۰ kJ m-۲ *		
۳۱۳ ≤ λ < ۳۱۵	۱ ns	۳۰ ks	۶/۳ kJ m-۲ *		
۳۱۵ ≤ λ < ۴۰۰	۱ ns	۱۰ s	۵/۶*t*۰/۲۵ kJ m-۲		

طول موج ***nm***	مدت پرتوگیری		**حد پرتوگیری شدت تابش یا دز تابشی**	**توان یا انرژی عبوری از دریچه ۷ میلی متری**	**محدودیت‌ها**
	حد پایین	**حد بالا**			
فرابنفش					**اندازه دریچه *b*:** **برای *t* < ۰/۳۵*s*** **برابر با ۱ *mm*** **برای ۰/۳۵ *s* <*t*< ۱۰ *s*** **برابر با ۱/۵ *t* ۰/۳۷۵ *mm*** **برای *t* > ۱۰ *s*** **برابر با ۳/۵ *mm***
۳۱۵ ≤ λ < ۴۰۰	۱۰ s	۳۰ ks	۱۰ kJ m-۲		
* در محدوده ۱۸۰ nm ≤ λ < ۳۱۵ nm و برای مدت پرتوگیری ۱ ns تا ۱۰ s حد پرتوگیری همچنین نباید بیشتر از $t^{0/25}$ kJ m^{-2} ۵/۶ در نظر گرفته شود.					

ادامه جدول ۷

نور مرئی c					**برای تمامی موارد اندازه دریچه برابر با ۷mm**
۴۰۰ ≤ λ < ۷۰۰	۱۰۰ fs	۱۰ ps	$۱/۰ C_E$ mJ m$^{-۲}$	$۳/۸ \times ۱۰^{-۸} C_E$ J	
۴۰۰ ≤ λ < ۷۰۰	۱۰ ps	۵ μs	$۲/۰ C_E$ mJ m$^{-۲}$	$۷/۷\times ۱۰^{-۸} C_E$ J	
۴۰۰ ≤ λ < ۷۰۰	۵ μs	۱۰ s	$۱۸ C_E t^{-۰/۷۵}$ J m$^{-۲}$	$۷ \times ۱۰^{-۴} C_E.t^{-۰/۷۵}$ J	
حدود دوگانه پرتوگیری با لیزرهای نور مرئی در محدوده طول موج ۴۰۰ الی ۶۰۰ نانومتر با زمان پرتوگیری بیشتر از ۱۰ ثانیه					
فتوشیمیایی [e]					
۴۰۰ ≤ λ < ۶۰۰	۱۰s	۱۰۰s	$۱۰۰ C_B$ J m$^{-۲}$	$۳/۹\times ۱۰^{-۳} C_B$ J	۱) برای $\alpha < \gamma ph$ از $\gamma = \gamma ph$ mrad استفاده کنید
۴۰۰ ≤ λ < ۶۰۰	۱۰۰s	۳۰ks	$۱/۰ C_B$ W m$^{-۲}$	$۳۹ C_B$ μW	۲) برای $\gamma ph \leq \alpha$ محدودیتی اعمال نمی شود.
گرمایی *					
۴۰۰ ≤ λ < ۷۰۰	۱۰s	۳۰ ks	۱۰ W m$^{-۲}$	۰/۳۹ mW	برای α ≤ ۱/۵ mrad
۴۰۰ ≤ λ < ۷۰۰	۱۰s	$T_۲$ s	$۱۸ C_E t^{-۰/۷۵}$ J m$^{-۲}$	$۷/۰ \times ۱۰^{-۴} C_E t^{-۰/۷۵}$ J	برای α ≤ ۱/۵ mrad
۴۰۰ ≤ λ < ۷۰۰	$T_۲$ s	۳۰ ks	$۱۸ C_E T_۲^{-۰/۲۵}$ W m$^{-۲}$	$۷/۰ \times ۱۰^{-۴} C_E T_۲^{-۰/۲۵}$ W	برای α ≤ ۱/۵ mrad
فروسرخ با طول موج کوتاه [d]					برای دریچه با اندازه ۷mm
۷۰۰ ≤ λ < ۱۰۵۰	۱۰۰ fs	۱۰ ps	$۱/۰ C_E$ mJ m$^{-۲}$	$۳/۸\times ۱۰^{-۸} C_E$ J	
۷۰۰ ≤ λ < ۱۰۵۰	۱۰ ps	۵ μs	$۲/۰ C_A C_E$ mJ m$^{-۲}$	$۷/۷\times ۱۰^{-۸} C_A C_E$ J	
۷۰۰ ≤ λ < ۱۰۵۰	۵ μs	۱۰ s	$۱۸ C_A C_E t^{-۰/۷۵}$ J m$^{-۲}$	$۷/۰\times ۱۰^{-۴} C_A C_E.t^{-۰/۷۵}$ J	
۱۰۵۰ ≤ λ < ۱۴۰۰	۱۰۰ fs	۱۰ ps	$۱/۰ C_C C_E$ mJ m$^{-۲}$	$۳/۸\times ۱۰^{-۸} C_C C_E$ J	
۱۰۵۰ ≤ λ < ۱۴۰۰	۱۰ ps	۱۳ μs	$۲۰ C_C C_E$ mJ m$^{-۲}$	$۷/۷\times ۱۰^{-۷} C_C C_E$ J	
۱۰۵۰ ≤ λ < ۱۴۰۰	۱۳ μs	۱۰ s	$۹۰ C_C C_E t^{-۰/۷۵}$ J m$^{-۲}$	$۳/۵\times ۱۰^{-۳} C_C C_E t^{-۰/۷۵}$ J	
۷۰۰ ≤ λ < ۱۴۰۰	۱۰ s	۳۰ ks	$۱۰ C_A C_C$ W m$^{-۲}$	$۳/۹ \times ۱۰^{-۴} C_A C_C$W	برای α ≤۱/۵ mrad
۷۰۰ ≤ λ < ۱۴۰۰	۱۰ s	$T_۲$ s	۱۸CA.CC CE t۰/۷۵ J m-۲	۱۷/۰×۱۰ -۴$C_A C_C C_E$ t۰/۷۵ J	برای α ≤۱/۵ mrad
۷۰۰ ≤ λ < ۱۴۰۰	۳۰ ks	$T_۲$ s	$۱۸C_A.C_C C_E T_۲^{-۰/۲۵}$ Wm$^{-۲}$	۷/۰ ×۱۰ $^{-۴}$ $C_A C_C C_E T_۲^{-۰/۲۵}$W	برای α ≤۱/۵ mrad
فروسرخ با طول موج متوسط یا بلند d					اندازه دریچه b: برای t<۰/۳۵ s برابر با ۱mm برای ۰/۳۵ ≤ t >۱۰s برابر با ۱/۵$t^{۰/۳۷۵}$mm برای t ≥۱۰ s

$۱۴۰۰ \leq \lambda < ۱۵۰۰$	۱ ns	۱ ms	۱ kJ m$^{-۲}$		
$۱۴۰۰ \leq \lambda < ۱۵۰۰$	۱ ms	۱۰ s	۵/۶ $t^{-۰/۲۵}$ kJ m$^{-۲}$		
$۱۵۰۰ \leq \lambda < ۱۸۰۰$	۱ ns	۱۰ s	۱۰ kJ m$^{-۲}$		
$۱۸۰۰ \leq \lambda < ۲۶۰۰$	۱ ns	۱۰ ms	۱/۰ kJ m$^{-۲}$		
$۱۸۰۰ \leq \lambda < ۲۶۰۰$	۱ ms	۱۰ s	۵/۶ $t^{-۰/۲۵}$ kJ m$^{-۲}$		
$۲۶۰۰ \leq \lambda < ۱$ mm	۱ ns	۱۰۰ ns	۱۰۰ J m$^{-۲}$		
$۲۶۰۰ \leq \lambda < ۱$ mm	۱۰۰ ns	۱۰ s	۵/۶ $t^{-۰/۲۵}$ kJ m$^{-۲}$		
$۱۴۰۰ \leq \lambda < ۱$ mm	۱۰ s	۳۰ ks	۱ kW m$^{-۲}$		

ta بر حسب ثانیه

b برای زمان پرتوگیری *t*، حد بالایی $t <$ و $\leq$ حد پایینی است. به عنوان مثال چنانچه حد پایینی زمان پرتوگیری fs ۱۰۰ و حد بالایی آن ۱۰ps است، آنگاه $fs \leq t > ۱۰ps$ ۱۰۰. همچنین اگر حد پایینی زمان پرتوگیری *ps*۱۰ و حد بالایی آن μs۵ باشد، آنگاه $۱۰\ ps \leq t < ۵\ \mu s$.

c چنانچه قطر باریکه کمتر از یک میلی متر و عرض پالس کمتر از s۰/۳۵ باشد، آنگاه مقدار واقعی شدت تابش و نه میانگین آن روی دریچه به قطر یک میلی متر باید با حد پرتوگیری مقایسه شود.

d در محدوده طول موج های مرئی برای لکه هیا بزرگ روی شبکیه، حد گرمایی پرتوگیری شبکیه چشم که بر حسب دز تابشی قرنیه داده شده است ممکن است از حد پرتوگیری پوست بیشتر باشد. در این شرایط به منظور حفاظت از قسمت های بیرونی چشم، حد پرتوگیری پوست هم برای چشم اعمال می شود. برای پرتوگیری چشم فقط در محدوده طول موج های فروسرخ، دو برابر حد پرتوگیری پوست باید اعمال شود. برای آنالیز کلی ایمنی، حدود پرتوگیری پوست و چشم هر دو باید اعمال شوند. بنابراین، این محدودیت اضافی برای پرتوگیری چشم (استفاده از حد پرتوگیری پوست به عنوان حد دوم) وقتی مطرح است که فقط چشم پرتوگیری می کند.

e برای منابع کوچک با زاویه دید *mrad*۱/۵ یا کمتر، حدود دوگانه پرتوگیری در محدوده طول موج های ۴۰۰ الی ۶۰۰ نانومتر، برای زمان های بیشتر از ۱۰ ثانیه و کمتر از T_1 به حدود گرمایی و برای زمان های بیشتر از ۱۰ ثانیه و بیشتر از T_1 به حدود فتوشیمیایی کاهش می یابد (به جداول ۴، ۵ و ۶ مراجعه شود).

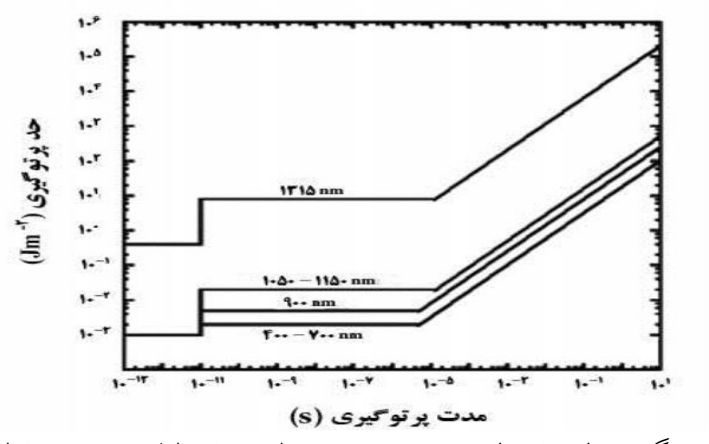
جدول ۸- حدود پرتوگیری چشم با پرتوهای لیزر در محدوده طول موج های ٤٠٠ الی ١٤٠٠ نانومتر بر حسب تابندگی با دز تابندگی

طول موج *nm*	مدت پرتوگیری		حد پرتوگیری	محدودیت‌ها
	حد پایینی	حد بالایی	تابندگی یا دز تابندگی	
نور مرئی				
برای $t \leq ۱۰$ s و $\alpha \geq \alpha_{max}$				
$۴۰۰ \leq \lambda < ۷۰۰$	۱۰۰ fs	۱۰ ps	۰/۱۷ kJ m$^{-۲}$ sr$^{-۱}$	کلیه موارد فقط برای منابع بزرگ با تابندگی ثابت
$۴۰۰ \leq \lambda < ۷۰۰$	۱۰ ps	۵/۰ μs	۰/۳۴ kJ m$^{-۲}$ sr$^{-۱}$	
$۴۰۰ \leq \lambda < ۷۰۰$	۵/۰ μs	ms ۰/٦٢٥	۳/۱ $t^{۰/۷۵}$ MJ m$^{-۲}$ sr$^{-۱}$	
$۴۰۰ \leq \lambda < ۷۰۰$	۰/۶۲۵ ms	۰/۲۵ s	۷۶ $t^{۰/۲۵}$ kJ m$^{-۲}$ sr$^{-۱}$	
$۴۰۰ \leq \lambda < ۷۰۰$	۰/۲۵s	۱۰ s	۰/۱۵ $t^{۰/۷۵}$ MJ m$^{-۲}$ sr$^{-۱}$	
برای $t \geq ۱۰$ s؛ حدود دوگانه				

طول موج *nm*	مدت پرتوگیری		حد پرتوگیری	محدودیت‌ها
	حد پایینی	حد بالایی	تابندگی یا دز تابندگی	
فتوشیمیایی				حدود تابندگی براساس اثرات فتوشیمیایی برای همه aها معتبر است، اما متوسط گیری پرتوگیری باید براساس γph صورت گیرد.
$۴۰۰ \leq \lambda < ۶۰۰$	۱۰ s	۱۰ ks	۱/۰ C_B MJ $m^{-۲}$ $sr^{-۱}$	

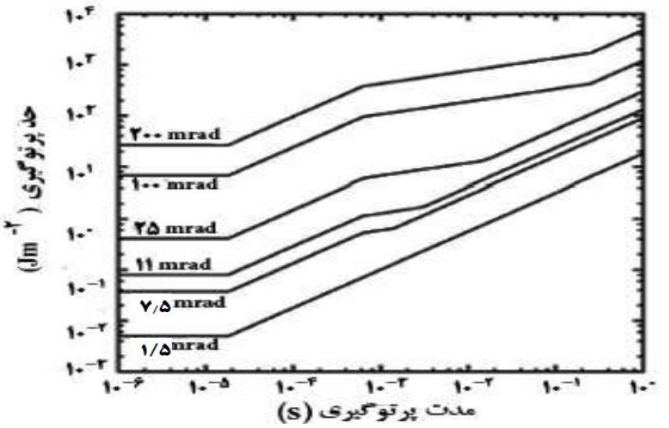
$۴۰۰ \le \lambda < ۶۰۰$	۱۰ ks	۳۰ ks	$۱۰۰\ C_B$ W m$^{-۲}$ sr$^{-۱}$	
گرمایی برای $\alpha \ge ۱۰۰$ mrad				
$۴۰۰ \le \lambda < ۷۰۰$	۱۰ s	۱۰۰ s	$۰/۱۵\ t^{۰/۷۵}$ MJ m$^{-۲}$ sr$^{-۱}$	
$۴۰۰ \le \lambda < ۷۰۰$	۱۰۰ s	۳۰ ks	۴۷ kW m$^{-۲}$ sr$^{-۱}$	
فروسرخ با طول موج کوتاه				
برای $\alpha \ge \alpha_{max}$				
$۷۰۰ \le \lambda < ۱۴۰۰$	۱۰۰ fs	۱۰ ps	۰/۱۷ kJ m-۲ sr$^{-۱}$	
$۷۰۰ \le \lambda < ۱۴۰۰$	۱۰ ps	۵/۰ μs	$۰/۳۴\ C_A\ C_C$ kJ m-۲ sr$^{-۱}$	
$۷۰۰ \le \lambda < ۱۴۰۰$	۵/۰ μs	۰/۶۲۵ ms	$۳/۱\ t^{۰/۷۵}\ C_A\ C_C$ MJ m-۲ sr$^{-۱}$	
$۷۰۰ \le \lambda < ۱۴۰۰$	۰/۶۲۵ ms	۰/۲۵ s	$۷۶\ t^{۰/۲۵}\ C_A\ C_C$ kJ m$^{-۲}$ sr$^{-۱}$	
$۷۰۰ \le \lambda < ۱۴۰۰$	۰/۲۵ s	۱۰ s	$۰/۱۵\ t^{۰/۷۵}\ C_A\ C_C$ MJ m$^{-۲}$ sr$^{-۱}$	
$۷۰۰ \le \lambda < ۱۴۰۰$	۱۰ s	۳۰ ks	$۱۰\ C_A\ C_C$ W m$^{-۲}$	
$۷۰۰ \le \lambda < ۱۴۰۰$	۱۰ s	۱۰۰ s	$۰/۱۵\ t^{۰/۷۵}\ C_A\ C_C$ MJ m$^{-۲}$ sr$^{-۱}$	
$۷۰۰ \le \lambda < ۱۴۰۰$	۱۰۰ s	۳۰ ks	$۴۷\ C_A\ C_C$ kW m$^{-۲}$ sr$^{-۱}$	
در همه موارد t بر حسب ثانیه است				

برخی از حدود پرتوگیری چشم، بر حسب مدت پرتوگیری و در طول موج های خاص در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



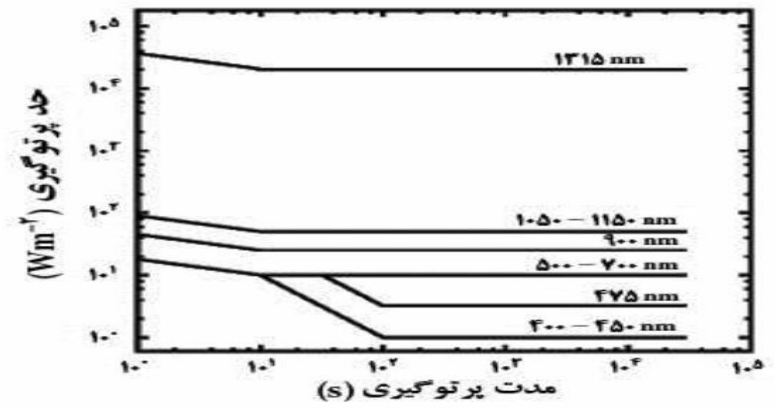
شکل ۱۰- حدود پرتوگیری از لیزرهای پالسی به عنوان منابع نور نقطه ای برای طول موج های ۴۰۰ الی ۱۴۰۰ نانومتر

وابستگی حدود گرمایی شبکیه به مدت زمان پرتوگیری برای تعدادی از زوایای دید منبع نور در شکل ۱۱ ارائه شده است.

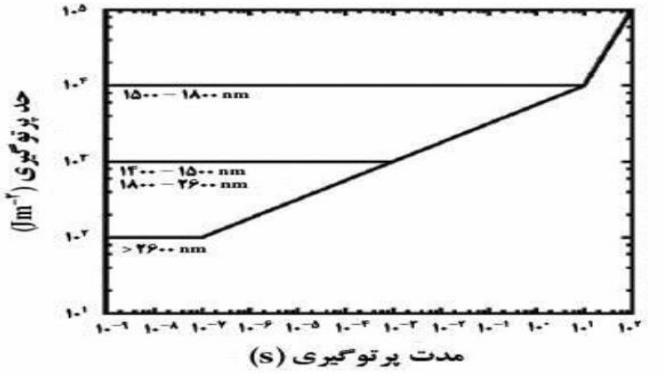


شکل ۱۱- نمودار وابستگی حدود گرمایی شبکیه به مدت زمان پرتوگیری برای تعدادی از زوایای دید منبع نور برای طول موج های ۴۰۰ الی ۷۰۰ نانومتر

نمودار حدود پرتوگیری با لیزرهای پیوسته به عنوان منابع نور نقطه ای در محدوده طول موج های ۴۰۰ الی ۱۴۰۰ نانومتر در شکل ۱۲ ارائه شده است. نمودارهای حدود پرتوگیری چشم از پرتوهای لیزر در محد وده های فروسرخ میانی و دور در شکل ۱۳ ارائه شده اند.



شکل ۱۲- نمودار حدود پرتوگیری چشم با لیزرهای پیوسته به عنوان منابع نور نقطه ای در محدوده طول موج های ۴۰۰ الی ۱۴۰۰ نانومت



شکل ۱۳- نمودارهای حدود پرتوگیری چشم و پوست از پرتوهای لیزر در محدوده های فروسرخ میانی و دور

۷ حدود پرتوگیری پوست

در مورد پوست، حدود پرتوگیری در سطح پوست مشخص می شوند وحدود آن در جدول ۹ آمده است.

جدول ۹- حدود پرتوگیری پوست از پرتوهای لیزر [a]

طول موج nm	مدت پرتوگیری		حد پرتوگیری شدت یا دز تابشی	محدودیت ها
	حد پایین	حد بالا		
فرابنفش				
$۱۸۰ \leq \lambda < ۴۰۰$	$۱\ ns$	$۳۰\ ks$	مانند حدود پرتوگیری برای چشم به جدول ۷ مراجعه شود.	دریچه با اندازه $۳/۵\ mm$ [b]
نور مرئی و فروسرخ با طول موج کوتاه				دریچه با اندازه $۳/۵\ mm$ [b]
$۴۰۰ \leq \lambda < ۱۴۰۰$	$۱\ ns$	ns ۱۰۰	$۲۰۰\ C_A\ J\ m^{-۲}$	
$۴۰۰ \leq \lambda < ۱۴۰۰$	$۱۰۰\ ns$	$۱۰\ s$	$۱۱\ C_A t^{۰/۲۵}\ KJ\ m^{-۲}$	
$۴۰۰ \leq \lambda < ۱۴۰۰$	$۱۰\ s$	$۳۰\ ks$	$۲/۰\ C_A t^{۰/۲۵}\ KW\ m^{-۲}$	
فروسرخ با طول موج متوسط یا بلند [C]				
$۱۴۰۰ \leq \lambda < ۱mm$	$۱\ ns$	$۳۰\ ks$	مانند حدود پرتوگیری برای چشم به جدول ۷ مراجعه شود.	دریچه با اندازه $۳/۵\ mm$ [b]

[a] t بر حسب ثانیه.

[b] چنانچه قطر باریکه کمتر از یک میلی متر باشد، آنگاه مقدار واقعی شدت تابش و نه میانگین آن روی دریچه ای به قطر $۳/۵mm$ باید با حد پرتوگیری مقایسه شود.

[C] برای طول موج های بالاتر از $۱۴۰۰\ nm$، مدت پرتوگیری بیشتر از $۱۰s$ و مساحت سطحی از پوست که پرتوگیری می کند بیشتر از $۰/۱\ m^۲$ ، حد پرتوگیری به $۱۰۰\ W\ m^{-۲}$ کاهش می یابد. چنانچه مساحت سطحی از پوست که پرتوگیری می کند بین ۰/۰۱ متر مربع (که برای آن حد پرتوگیری $۱۰۰۰\ W\ m^{-۲}$ است) و ۰/۱ متر مربع (که حد پرتوگیری $۱۰۰\ W\ m^{-۲}$ است) باشد، حد پرتوگیری با مساحت سطحی از پوست که پرتوگیری می کند نسبت عکس دارد.

۸ طول موج های چندگانه

موارد زیر برای پرتوگیری از تابش لیزری که شامل بیش از یک طول موج است، مانند ترکیبی از چند باریکه، اعمال می شود.

برای طول موج های مختلف، اگر محل[۳۲] جذب یکی باشد، مثلاً قرنیه یا شبکیه، و مکانیسم آسیب هم یکسان باشد، مثلاً گرمایی، ترمومکانیکی یا فتوشیمیایی، اثرات به طور طیفی جمع پذیر در نظر گرفته می شوند. برای پرتوگیری از طول موج هایی که عمدتاً در بافت‌های مختلف جذب می شوند، مثلاً یکی در قرنیه و دیگری در شبکیه، پرتوگیری ها باید مستقل در نظر گرفته شوند.

در مواردی که محل جذب یکی است، اما مکانیسم های آسیب متفاوت هستند، مثلاً وقتی که عرض پالس و/یا اندازه تصویر متفاوت است، فرضیه های موجود نمی توانند با اطمینان اثرات بر هم کنش را برای ترکیب های مختلف ممکن پیش بینی کنند. محتمل به نظر نمی آید که هر مکانیسم آسیب مستقل از بقیه رفتار کند و هیچ بر هم کنشی وجود نداشته باشد. برای اهداف کاربردی، و در صورت کمبود اطلاعات، در صورتی که چندین طول موج هم زمان توسط یک بافت جذب شود، پرتوگیری ها تجمعی در نظر گرفته می شوند. به دلیل غیر خطر بودن آسیب های ناشی از گرما، اگر مکانیسم گرمایی دخیل باشد، این فرض باید با احتیاط مورد استفاده قرار گیرد.

۹ پرتوگیری های تکرار شونده

در یک روز، پرتوگیری تکراری از لیزر می تواند نتیجه یکی از این موارد باشد:

چند بار پرتوگیری از یک لیزر پیوسته یا

پرتوگیری از تکرار پالس لیزر و

پرتوگیری از باریکه های لیزرهای اسکنر[۳۳].

باریکه های اسکنر، باعث پرتوگیری تکراری پالسی چشم می شوند. هم زمان عرض یک پالس و هم مجموع زمان کل پرتوگیری باید تعیین شوند. زمان کل پرتوگیری از یک قطار پالس مشابه با زمان پرتوگیری پیوسته تعیین می شود. یعنی زمان کل پرتوگیری برابر با زمان طی شده از لحظه شروع پرتوگیری (شروع اولین پالس) تا لحظه پایان آخرین پالس شامل زمان های بین پالس های متوالی است.

براساس اطلاعاتی که در حال حاضر در مورد پالس هایی که عرض آنها در محدوده نانوثانیه است وجود دارد، پیشنهاد می شود آستانه برای انرژی هر پالس با ضریبی در حدود $n^{-0/25}$ کاهش یابد؛ که n تعداد پالس ها است.

تمامی قواعد عمومی زیر باید برای کلیه پرتوگیری های تکراری ناشی از پالس های تکرار شونده و یا سیستم های جاروبگر لیزری رعایت شود:

۱. پرتوگیری از هر یک پالس ها در یک قطار پالس نباید از حد پرتوگیری برای یک تک پالس با عرض پالس مشابه، بیشتر شود.

۲. پرتوگیری از هر مجموعه پالس، یا زیرمجموعه از پالس ها در یک قطار پالس، که در مدت زمان T صورت می گیرد، نباید از حد پرتوگیری برای زمان T بیشتر شود. T از عرض یک پالس تا مدت زمان کل پرتوگیری تغییر می کند؛ و

---

[32] . Site

[33] . Scanner

۳.برای حدود گرمایی شبکیه، یک ضریب اضافی C_P نیز با شرایط زیر به حد مربوط به یک تک پالس اعمال می شود. مقدار C_P برابر با $n^{-۰/۲۵}$ است (به جز در مواردی که غیر از آن ذکر شده باشد) که در آن n تعداد دفعات تکرار پالس ها در مدت زمان پرتوگیری $T_۲$ است (به جدول ۶ مراجعه شود).

الف – برای $a \leq ۵\ mrad$ با عرض پالس بیشتر از T_i ۵ μs برای طول موج های ۴۰۰ الی ۱۰۵۰ نانومتر)، $C_P = ۱/۰$ است.

ب – برای $a \leq ۵\ mrad$ با عرض پالس بیشتر از T_i، چنانچه $\alpha \leq a_{max}$ و $n > ۴۰$ باشد، $C_P = ۰/۴$، و در صورتیکه $\alpha < ۱۰۰\ mrad$ و $n > ۶۲۵$ باشد، $CP = ۰/۲$ و اگر $\alpha \geq ۱۰۰\ mrad$ باشد، $C_P = ۱/۰$ است.

ج – برای عرض پالس کمتر یا مساوی T_i، و مدت زمان پرتوگیری کمتر یا مساوی با ۰/۲۵ s، $C_P = ۱/۰$ است. برای مدت پرتوگیری (مورد استفاده در ارزیابی ایمنی به عنوان بیشترین زمان مورد انتظار برای پرتوگیری) طولانی‌تر از ۰/۲۵s و بیشتر از ۶۰۰ پالس در مدت پرتوگیری، $C_P = ۵\ n^{-۰/۲۵}$ است. در شرایطی که پرتو مرئی است، این محدودیت فقط برای پرتوگیری های عمدی اعمال می شود.

۱۰ پرتوگیری های مزمن

پرتوگیری مزمن از تابش لیزر معمولاً به ندرت پیش می آید. مجموعه تجربیات حاصل از لیزرهای در حال استفاده هیچ شاهدی دال بر اثرات ناشی از پرتوگیری های مزمن (اثرات تأخیری) ارائه نمی دهد. اطلاعات علمی کافی برای استخراج راهنمای پرتوگیری مزمن وجود ندارد. هرچند، انتظار نمی رود در مقایسه با پرتوگیری ناهمدوس محیطی خطرات ویژه ای در ارتباط با پرتوگیری مزمن از لیزر وجود داشته باشد. حد مرتبط با پرتوگیری طولانی مدت از لیزرهای UV-B و UV-C، به طور مؤثر همان حدود قابل کاربرد برای چشمه های غیر لیزری هستند.

۱۱ تدابیر احتیاطی ویژه

حدود ارائه شده در این استاندارد هم برای عموم مردم و هم برای افرادی که به طور مستقیم با لیزر کار می کنند به کار می رود. باید توجه شود که تعداد کمی افراد حساس به نور ممکن است در مقادیر کمتر از حدود ارائه شده، دچار عوارض ناشی از پرتوهای فرابنفش شوند. به علاوه حدود پرتوگیری در محدوده طول موج های ۳۰۰الی ۴۰۰ نانومتر نباید برای نوزادان و افراد دارای عدسی مصنوعی در چشم، به کار رود. لذا باید برای پیشگیری از پرتوگیری چنین افرادی از پرتوهای فرابنفش لیزر تدابیر احتیایطی سخت گیرانه تری باید به کار گرفته شود.

این حدود پرتوگیری به منظور محدود کردن کاربردهای لیزر به عنوان عاملی ضروری در درمان های پزشکی تدوین نشده است. اما در مورد پرتوگیری های تشخیصی، باید براساس این شرایط، ملاحظات ویژه ای برای پرتوگیری در نظر گرفته شود.

حدود ارائه شده برای پرتوگیری چشم، همانطور که در این مدرک گفته شده است، از آسیب دیدن چشم در اثر مکانیسم تخریب غیرخطر (بسیار کوتاه مدت)، مکانیسم های تخریب گرمایی و آسیب فتوشیمیایی شبکیه ناشی از طول موج های کوتاه نور پیشگیری می کند. اما در شرایطی که مردمک ها با استفاده از دارو گشاد شده اند و نور روی شبکیه متمرکز شده است، نوع دیگری از آسیب فتوشیمیایی شبکیه ممکن است سبب نگرانی شود. این حالت برای طول موج های خارج از محدوده خطر نور آبی یعنی محدوده ای که گیرندگان مخروطی نور به شدت طول موج میانی (سبز) و طول موج بلند (قرمز) را جذب می کنند، یعنی محدوده ۵۰۰ الی ۶۰۰ نانومتر مطرح است. برای بروز این شرایط همچنین لازم است که پرتوگیری طولانی باشد و به ندرت در اثر بیش اشباع[۳۴] سلول های مخروطی[۳۵] روی می دهد. گرچه سابق بر این تصور می شد که این شرایط، در عمل پیش نمی آید، اما در پرتوگیری از برخی از تجهیزات چشم پزشکی این پدیده ممکن است روی دهد و در این مواقع باید احتیاط لازم صورت گیرد.

حد مجاز مواجهه شغلی(OEL) پرتوهای یون‌ساز

حدود مجاز پرتوهای یون‌ساز در جدول۱آمده است و بر اساس اصل ALARA پرتوگیری شغلی افراد می‌بایست به مراتب کمتر از مقادیر مجاز تعیین‌شده باشد.

جدول ۱- مقدار توصیه‌شده برای مواجهه با پرتوهای یونساز[A]

نوع پرتوگیری	مقدار توصیه‌شده
دوز مؤثر:	
الف- در هر سال (فقط در طی یک سال)	۵۰ میلی سیورت[B]
ب- میانگین دوره ۵ ساله	۲۰ میلی سیورت در سال
دوز معادل سالانه[C] برای:	
الف : عدسی چشم	۱۵۰ میلی سیورت
ب : پوست، دست‌ها و پاها	۵۰۰ میلی سیورت
دوز مؤثر تجمعی:	۱۰ میلی سیورت × سن(برحسب سال)
دوز معادل ماهانه جنین[C]	۰/۵ میلی سیورت
رادون و دختران رادون	۴ ماه کاری (WLM)[۳۶]

[34] . Oversaturation
[35] . Cone Opsins

*میزان احتمال بروز خطر سرطان کشنده برای مواجهه کارکنان با دز مؤثر مقدار ۲۰ mSv در سال برای یک دوره ی پنج ساله و مواجهه یکباره به میزان **یک سیورت** بر پایه حد دز توصیه‌شده طبق کمیسیون های (ICRP,2007) (NCRP,1993) برآورد شده است.

[A]دز: دز مؤثر مجموع پرتوگیری داخلی و خارجی به استثناء مقادیر ناشی از منابع طبیعی است. بر اساس توصیه های **ICRP** و **NCRP** حاصلضرب دز معادل جذبی هر بافت در فاکتور وزنی بافت(احتساب حساسیت اندام ها) را دز مؤثر گویند.

$$H_T = \sum_T w_T \times \sum_R W_R D_{T.R}$$

در فرمول H_T دز مؤثر، $D_{T,R}$ میانگین دز جذبی از پرتو R در عضو یا بافت است. W_T ضریب وزنی بافت است W_R فاکتور وزنی پرتو R است.

۱۰mSv = ۱ rem [B]

[c] دز معادل کمیتی است که دز جذب‌شده در بافت را با توجه به اثرات بیولوژیکی آن اندازه‌گیری می‌کند به‌عبارت‌دیگر در یک دز یکسان، اثرات بیولوژیکی کلیه پرتوهای یون‌ساز، هرگز یکسان نخواهد بود، بلکه اثرات برحسب پرتو شدت و ضعف می‌یابند. یکای دز معادل سیورت(Sv) و یا رم (Rem) است.

D سطح کاری ماهیانه:[۳۷]

$1WLM = ۳.۵\times۱۰^{-۳} Jh/m^۳$

تبدیل پرتو گیری رادون به دز مؤثر از طریق مقایسه ی مستقیم واحدهای آن صورت می‌گیرد. ضریب تبدیل برای حدود دز فوق به‌صورت زیر است:

۲۰ mSv معادل با ۱۴ $mj.h.m^{-3}$ یا ۴ WLM

۵۰ mSv معادل با ۳۵ $mj.h.m^{-3}$ یا ۱۰ WLM

میزان حد آستانه (OEL) که در اکثر کشورها پذیرفته‌شده ۴ WLM است که بر اساس آن نباید فردی در معرض پرتوگیری تجمعی بیشتراز این حددر سال قرار گیرد.حد بالای دز سالانه کارگران ۱۰ mSvاست که معادل حد بالای فعالیت ۱۵۰۰ بکرل در مترمکعب برای رادون و دختران رادون است.

1 Working Level Months (WLM)

مراجع

مقررات بخش پرتوها برگرفته شده از

۱- استاندارد ملی ایران شماره ۸۵۶۷ (تجدید نظر دوم)،پرتوهای غیر یونساز- حدود پرتوگیری
http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=48461

۲- ضوابط کار در میدان مغناطیسی مستقیم یا میدان های الکتریکی و مغناطیسی با فرکانس فوق العاده کم
https://nrpd.ir/portal/home/?48286/%D8%AC%D8%B3%D8%AA%D8%AC%D9%88%DB%8C-%D8%B6%D9%88%D8%A7%D8%A8%D8%B7-%D9%88-%D9%85%D9%82%D8%B1%D8%B1%D8%A7%D8%AA

۳- استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۶۱۰، حدود پرتوگیری از تابش های لیزری در محدوده طول موج های ۱۸۰ نانومتر تا ۱۰۰۰میکرون است.
http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=46403

۴- حفاظت در برابر پرتوهای یونساز و ایمنی منابع پرتو- استانداردهای پایه – استاندارد شماره ۷۷۵۱
http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=43852

می باشد. جهت کاربردحدود مجازپرتوها در محیط کار باید به لینک های درج شده استاندارد ملی صدر الاشاره مراجعه نمود و همو اره از آخرین تجدید نظر آنها بهره برداری گردد. از آنجا که دفتر حفاظت در برابر اشعه وظیفه تعیین حدود پرتو گیری شغلی در فعالیت های کاری با پرتوهای یونساز و غیر یونساز را بر عهده دارند و این حدود بعنوان بخشی از مقررات ملی محسوب می گرددبرای آگاهی از آخرین استانداردهای بروز به سایت دفتر امور حفاظت در برابر اشعه مراجعه نمایید.