INSO
8567
2nd .Revision
2016

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۸۵۶۷
تجدیدنظر دوم
۱۳۹۵

پرتوهای غیریونساز – حدود پرتوگیری

Non-ionozing radiation exposure limits

ICS: 13.220

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2 - International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« پرتوهای غیریونساز – حدود پرتوگیری »

رئیس :	**سمت و/ یا نمایندگی**
کاردان، محمدرضا (دکترای مهندسی هسته‌ای)	عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای
دبیر :	
فرودین، دلنواز (کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات)	عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای
اعضاء :	
باباخانی، اسد (دکترای مکاترونیک)	عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای
حسینی پناه، شهرام (دکترای مهندسی برق- مخابرات)	عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای
راستخواه، ناصر (کارشناسی ارشد تکنولوژی هسته‌ای)	رئیس مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور
صادق نیت، خسرو (دکترای طب کار)	رئیس مرکز سلامت محیط و کار، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
طالاری، نادر (کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات)	کارشناس سازمان انرژی اتمی ایران
موافقی، امیر (دکترای مهندسی پرتوپزشکی)	عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای
ناظری، فیروزه (کارشناسی ارشد فیزیک)	کارشناس سازمان انرژی اتمی ایران

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد ج
پیش‌گفتار ه
مقدمه ۱
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۱
۴ طبقه‌بندی انواع پرتوهای غیریونساز و حدود پرتوگیری ۱۵
۴-۱ حدود کمیت‌های پایه- پرتوگیری شغلی و مردم ۱۵
۴-۲ سطوح مرجع (حدود کمیت‌های کاربردی) برای پرتوگیری شغلی و مردم ۱۷
۴-۳ حدود جریان‌های تماسی و القایی شغلی و مردم ۲۱
۴-۴ پرتوگیری همزمان از میدان‌ها با چند فرکانس مختلف ۲۲
۴-۵ حد میدان مغناطیسی مستقیم (DC) برای مردم و شاغلین ۲۴
۴-۶ حدود پرتوگیری با پرتوهای فرابنفش (منابع غیرلیزری) ۲۴
۴-۷ حدود پرتوگیری با پرتوهای مرئی و فروسرخ (منابع غیرلیزری) ۲۷
۴-۸ حدود پرتوگیری برای پرتوهای فراصوت ۳۷

پیش‌گفتار

استاندارد « پرتوهای غیریونساز- حدود پرتوگیری » که نخستین‌بار در سال ۱۳۸۵ تدوین و منتشر شد، بر اساس پیشنهادهای دریافتی و بررسی و تأیید کمیسیون‌های مربوط برای دومین بار مورد تجدیدنظر قرار گرفت و در پانصد و هشتاد و نهمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد مهندسی پزشکی مورخ ۱۳۹۵/۰۳/۳۰ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۸۵۶۷ : سال ۱۳۸۵ می‌شود.

منابع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

1 International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 HZ – 100 kHz), Health Physics, Vol. 99(6):818-836; 2010

2 International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), Health Physics, Vol. 74(4): 494-522;1998.

3 International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) Statement on the "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)"; Health Physics Vol. 97(3):257-258; 2009

4 International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP)Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields; Health Physics 96(4): 504-514, 2009.

5 International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) Guidelines on Limits Of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelength Between 100 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation), Health Physics Vol. 87(2):171-186; 2004

6 International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) Guidelines on Limits of Exposure to Incoherent Visible and Infrared Radiation, Health Physics Vol. 105(1):74-91; 2013

7 International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) Interim Guidelines on Limits of Human Exposure to Air born Ultrasound, Health Physics Vol. 46(4): 969-974; 1984

مقدمه

در این استاندارد حدود پرتوگیری از پرتوهای غیریونساز شامل پرتوهای الکترومغناطیسی در محدوده فرکانس صفر تا ۳×۱۰^{۱۵} هرتز و همچنین پرتوهای فراصوت ارائه شده است.

علاوه بر لزوم رعایت الزامات این استاندارد توسط مراکز ذکر شده در دامنه کاربرد، اصول "توجیه‌پذیری[۱]" و"بهینه‌سازی[۲]" نیز در همه موارد و در هر شرایطی باید در این مراکز در نظر گرفته شوند. "توجیه‌پذیری" و "بهینه‌سازی" دو اصل هستند که زیربنای کلیه استانداردهای بین‌المللی ایمنی پرتوی و همچنین ضوابط واحد قانونی هستند. منظور از "توجیه‌پذیری" این است که سود فعالیت‌ها بیش از مخاطرات پرتوی آن‌ها باشد و در ارزیابی سود و مخاطرات تمامی پی‌آمدهای مهم و قابل‌توجه باید درنظر گرفته شوند. منظور از "بهینه‌سازی" این است که اقدامات ایمنی به کار گرفته شده بالاترین سطح ایمنی به‌طور 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 به‌طور منطقی قابل دستیابی[۳]" خواهد رسید.

اولین ویرایش استاندارد حاضر در سال ۱۳۸۵ در مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی وقت تصویب شد. تمامی مقادیر در آن نسخه، بر اساس آخرین رهنمودهای "کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونساز[۴]" ارائه شده‌بود. با گذشتن حدود ده سال از آن زمان، این کمیسیون بر اساس آخرین یافته‌های جهانی اقدام به بازنگری رهنمودهای قبلی نمود و ویرایش‌های جدید تعدادی از آن‌ها را جایگزین نسخه‌های قبلی نمود. به این ترتیب بازنگری استاندار ملی "پرتوهای غیریونساز- حدود پرتوگیری" ضروری بود. در ویرایش جدید این استاندارد، تغییرات زیر نسبت به نسخه قبلی آن صورت گرفته‌است.

۱) **بند ۳ اصطلاحات و تعاریف**

براساس مدارک مورد استفاده در بازنگری، که در بند منابع و مآخذ پیش‌گفتار آمده‌است، ۱۴ تعریف به تعاریف قبلی اضافه شده‌است. تعدادی از تعاریف نیز اصلاح شده‌است.

۲) **بند ۴-۱ حدود کمیت‌های پایه- پرتوگیری شغلی و مردم**

جدید است و بر اساس منابع ۱ و ۲ در بند پیش‌گفتار، اضافه شده‌است.

۳) **بند ۴-۲ سطوح مرجع (حدود کمیت‌های کاربردی) برای پرتوگیری شغلی و مردم**

جداول حدود پرتوگیری تا فرکانس ۱۰۰ کیلوهرتز بر اساس منبع ۱ در بند پیش‌گفتار بازنگری شده‌است. در سایر فرکانس‌ها مقادیر براساس منبع ۲ در بند پیش‌گفتار است و طبق منبع ۳ تغییر نکرده‌است. شکل‌های ۵ الی ۸ اضافه شده‌است.

---

[1] Justification
[2] Optimization
[3] As Low As Reasonably Achievable (ALARA)
[4] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection

۴) **بند ۴-۳ حدود جریان‌های تماسی و القایی شغلی و مردم**
مطابق با منبع ۱ در بند پیش‌گفتار، به روز شده‌است.

۵) **بند ۴-۴ پرتوگیری هم‌زمان از میدان‌ها با چند فرکانس مختلف**
جدید است و بر اساس منابع ۱ و ۲ در بند پیش‌گفتار، اضافه شده‌است.

۶) **بند ۴-۵ حد میدان مغناطیسی مستقیم (DC) برای شاغلین و مردم**
جدید است و بر اساس منبع ۴ در بند پیش‌گفتار، بازنگری و به روز شده‌است.

۷) **بند ۴-۶ حدود پرتوگیری با پرتوهای فرابنفش (منابع غیرلیزری)**
تغییر نکرده‌است.

۸) **بند ۴- ۷ حدود پرتوگیری با پرتوهای مرئی و فروسرخ (منابع غیرلیزری)**
بر اساس منبع ۵ در بند پیش‌گفتار، بازنگری و به روز شده‌است.

۹) **بند ۴- ۸ حد پرتوگیری برای پرتوهای فراصوت**
تغییر نکرده‌است.

پرتوهای غیریونساز – حدود پرتوگیری

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، 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 استاندارد برای کلیه مراکز کار با پرتوهای غیریونساز کاربرد دارد. همچنین تمامی مراکزی که از پرتوهای غیریونساز به هر نحو استفاده می‌کنند، باید شرایط استقرار تأسیسات را به‌گونه‌ای فراهم کنند که این استاندارد رعایت شود.
حدود پرتوگیری برای پرتوگیری شغلی و پرتوگیری مردم، جداگانه درنظر گرفته می‌شود. این حدود برای پرتوگیری پزشکی قابل اعمال نیست.
این استاندارد برای باریکه‌های منابع نوری لیزری کاربرد ندارد و برای لیزرها باید استاندارد خاص لیزر رعایت شود.

۲ مراجع الزامی

مدرک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی محسوب می‌شود.
در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه های بعدی آن‌ها مورد نظر است.
استفاده از مرجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۶۱۰، حدود پرتوگیری از تابش‌های لیزری در محدوده طول موج‌های ۱۸۰ نانومتر تا ۱۰۰۰ میکرون.

۳ اصطلاحات و تعاریف

۳-۱
آهنگ جذب انرژی
Specific energy absorption rate ***SAR***

آهنگ انرژی رادیویی جذب شده در واحد جرم بافت است. معادله ریاضی SAR به صورت زیر است.

$$SAR = \frac{d}{dt}\left[\frac{dW}{dm}\right] = \frac{d}{dt}\left[\frac{dW}{\rho dV}\right] \qquad (۱)$$

که در آن:

W انرژی جذب شده در بافت بر حسب *ژول* (J)؛

m جرم بافت بر حسب *کیلوگرم* (Kg)؛

ρ چگالی بافت بر حسب *گیلوگرم بر متر مکعب* (kg/m^3)؛

t زمان پرتوگیری بر حسب *ثانیه* (s)؛ و

V حجم بافت بر حسب *متر مکعب* (m^3) است.

یادآوری- آهنگ جذب انرژی بر حسب *وات بر کیلوگرم* (W/kg) است.

می‌توان SAR را به شدت میدان الکتریکی در بافت ربط داد؛ این ارتباط با معادله زیر بیان می‌شود.

$$SAR = \sigma \frac{E^2}{\rho} \qquad (۲)$$

که در آن:

σ هدایت الکتریکی بافت بر حسب *زیمنس بر متر* (S/m)؛ و

E شدت میدان الکتریکی مؤثر در داخل بافت است که بر حسب *ولت بر متر* (V/m) بیان می‌شود.

می‌توان SAR را به افزایش دما در بافت نیز مرتبط کرد؛ این ارتباط با معادله زیر بیان می‌شود.

$$SAR = \frac{C \Delta T}{\Delta t} \qquad (۳)$$

که در آن:

ΔT تغییرات دمای بافت بر حسب *درجه سلسیوس* (^oC)؛

Δt مدت زمان پرتوگیری بر حسب *ثانیه* (s)؛ و

C ظرفیت گرمایی ویژه بافت بر حسب *ژول بر کیلوگرم درجه سلسیوس* ($J/Kg\ ^oC$) است.

۲-۳
اثرات قطعی

Deterministic effects

اثراتی از پرتو است که قطعاً دراثر پرتوگیری در میدان‌های بالاتر از آستانه معینی ظاهر می‌شود.

۳-۳
اعصاب محیطی

Peripheral nerve

اعصاب قرار گرفته در خارج از سیستم اعصاب مرکزی که آغاز و پایان آن‌ها به سیستم اعصاب مرکزی منتهی می‌شود.

۴-۳
اکتاو (پهنای اکتاو)

Octave band

یک محدوده فرکانس (بسامد) است به‌نحوی که فرکانس بالایی محدوده، دو برابر کمترین فرکانس آن محدوده باشد. در این استاندارد، برای سادگی به جای "پهنای اکتاو" از "اکتاو" استفاده خواهد شد.

۵-۳
پرتو

Radiation

به تعریف "پرتوهای غیریونساز" مندرج در بند ۳-۱۲ مراجعه شود.

۶-۳
پرتوگیری

Exposure

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 نمود.

۷-۳
پرتوگیری پزشکی

Medical exposure

پرتوگیری بیماران در فرایند تشخیص یا درمان در پزشکی و دندانپزشکی و همچنین پرتوگیری افرادی (به‌استثنای کارکنان) که از بیماران مراقبت یا پرستاری می‌کنند و یا پرتوگیری افرادی که داوطلبانه در برنامه تحقیقاتی پزشکی شرکت می‌کنند.

۸-۳
پرتوگیری شغلی

Occupational exposure

پرتوگیری کارکنان به‌هنگام کار است.

۹-۳
پرتوگیری طبیعی

Natural exposure

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

۱۰-۳
پرتوگیری عادی

Normal exposure

پرتوگیری قابل انتظار در شرایط عادی کار با منابع یا تأسیسات با درنظرگرفتن پرتوگیری ناشی از سوانح جزئی قابل‌کنترل است.

۱۱-۳
پرتوگیری 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 نمی‌باشد.

۱۲-۳
پرتوهای غیریونساز

Non-ionizing radiation

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 طول موج‌های بلندتر از ۱۰۰ nm، یا فرکانس‌های کمتر از ۳×۱۰^{۱۵} Hz متناظر است. امواج مکانیکی صوتی و فراصوتی نیز غیریونساز هستند.

۱۳-۳
تابندگی

Radiance ***L***

توان تابشی از واحد سطح یک منبع تابش‌کننده در واحد زاویهٔ فضایی است. تابندگی معادل شار خارج شده از واحد سطح در واحد زاویهٔ فضایی می‌باشد. تابندگی برای منبع نور تعریف می‌شود.

یادآوری- یکای تابندگی در دستگاه بین‌المللی یکاها (SI)، *وات بر مترمربع بر استرادیان* ($W/m^۲.Sr$) است.

۱۴-۳
تراز فشار صوت

Sound pressure level ***SPL***

کمیتی‌است بر حسب *دسی بل* (dB)، که از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$SPL = 20 \log \frac{P}{P_r} = 10 \log \frac{I}{I_r} \qquad (۴)$$

که در آن:

P فشار صوت مؤثر برحسب *پاسکال* (Pa) (به تعریف "فشارصوت" مندرج در بند ۳-۴۲ مراجعه شود)؛

P_r فشار صوت مرجع برحسب *پاسکال* (Pa) (به تعریف "فشار صوت مرجع" مندرج در بند ۳- ۴۳ مراجعه شود)؛

I شدت صوت بر حسب *وات بر متر مربع* ($W/m^۲$) (به تعریف "شدت صوت" مندرج در بند ۳-۳۴ مراجعه شود)؛ و

I_r شدت صوت مرجع برحسب *وات بر متر مربع* ($W/m^۲$) است. به تعریف "شدت صوت مرجع" مندرج دربند ۳-۳۵ مراجعه شود.

۱۵-۳

جذب انرژی

Specific energy absorption ***SA***

انرژی جذب شده در واحد جرم بافت بیولوژیکی است. جذب انرژی، انتگرال زمانی آهنگ جذب انرژی (SAR) است.

یادآوری- یکای جذب انرژی در دستگاه بین‌المللی یکاها، *ژول بر کیلوگرم* (J/kg) است.

۱۶-۳

جذر میانگین مربعات

Root Mean Square (rms)

ریشه دوم میانگین مربع یک تابع زمانی، *F(t)*، در یک بازه زمانی معین t_1 تا t_2 است. ابتدا مربع تابع گرفته می‌شود، سپس مقدار میانگین مربعات محاسبه می‌شود و بعد جذر آن به‌دست می‌آید.

$$F_{rms} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1}\int_{t_1}^{t_2} [F(t)]^2 \, dt} \qquad (۵)$$

۱۷-۳

جریان تماسی

Contact current

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

۱۸-۳

چگالی توان

Power density ***S***

توان تابیده‌شده به یک کره کوچک تقسیم بر مساحت دایره عظیمه آن کره می‌باشد. در میدان‌های الکترومغناطیسی چگالی توان با بزرگی بردار پوینتینگ[1] نیز برابر است.

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \qquad (۶)$$

که در آن:

$\vec{S}$ بردار پوینتینگ؛

$\vec{E}$ بردار میدان الکتریکی (به تعریف "شدت میدان الکتریکی" مندرج در ۳-۳۶ مراجعه شود)؛ و

$\vec{H}$ بردار میدان مغناطیسی (به تعریف "شدت میدان مغناطیسی" مندرج در ۳-۳۷ مراجعه شود) است.

یادآوری- یکای چگالی توان در دستگاه بین‌المللی یکاها، *وات بر مترمربع* (W/m^2) است.

[1] Pointing Vector

۱۹-۳

چگالی توان موج تخت

Plane wave power density S_{eq}

چگالی توان در میدان دور است. در میدان دور چگالی توان معادل موج تخت در هوا، از معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$S_{eq} = \frac{E^2}{120\ \pi} = H^2 \times 120\ \pi \qquad (۷)$$

که در آن:

S_{eq} چگالی توان معادل موج تخت بر حسب *وات بر مترمربع* (W/m^2)؛

E شدت میدان الکتریکی بر حسب *ولت بر متر* (V/m)؛

H شدت میدان مغناطیسی بر حسب *آمپر بر متر* (A/m)؛ و

π عدد پی و تقریباً برابر با ۳٫۱۴ است.

۲۰-۳

چگالی جریان

Current density J

کمیتی است که انتگرال آن بر روی یک سطح مفروض، با جریان عبوری از آن سطح برابر است. متوسط چگالی جریان در یک رسانای خطی، از تقسیم کردن جریان بر سطح مقطع رسانا به‌دست می‌آید.

یادآوری- یکای چگالی جریان در دستگاه بین‌المللی یکاها، *آمپر بر متر مربع* (A/m^2) است.

۲۱-۳

چگالی شار مغناطیسی

Magnetic flux density B

کمیتی برداری است که نیروی وارد بر یک بار یا بارهای درحال حرکت (جریان الکتریکی) را بیان می‌کند.

یادآوری- یکای چگالی شار مغناطیسی در دستگاه بین‌المللی یکاها، *تسلا* (T) است. یکای دیگر چگالی شار مغناطیسی *گوس* (G) است. یک *گوس* برابر با 10^{-4} *تسلا* می‌باشد.

۲۲-۳

چگالی متوسط توان

Mean power density $\overline{S}$

چگالی متوسط توان از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$\overline{S} = \frac{1}{T} \int_0^T S(t)\, dt \qquad (۸)$$

که در آن:

$\overline{S}$ متوسط چگالی توان برحسب *وات بر مترمربع* (W/m^2)؛

T دورهٔ تناوب برحسب *ثانیه* (s)؛ و

$S(t)$ چگالی لحظه‌ای توان بر حسب *وات بر مترمربع* (W/m^2) است.

۲۳-۳
حد

Limit

مقداری از یک کمیت است که در شرایط و یا فعالیت‌های مشخص به‌کار می‌رود و باید رعایت شود.

۲۴-۳
دز تابشی

Radiant Exposure ***H***

انتگرال شدت تابش در مدت زمان پرتوگیری است و از معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$H = \int_{t_1} E(t)\, dt \qquad (۹)$$

که در آن:

H دز تابشی بر حسب *ژول بر مترمربع* (J/m^2)؛

$E(t)$ شدت تابش در لحظه t برحسب *وات بر مترمربع* (W/m^2)؛ و

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

چنانچه شدت تابش در مدت پرتوگیری ثابت باشد، دز تابشی از معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$H = E\, t_1 \qquad (۱۰)$$

که در آن، E شدت تابش برحسب *وات بر مترمربع* (W/m^2) است.

۲۵-۳
دُز تابشی مؤثر

Effective Radiant Exposure H_{eff}

دز تابشی مؤثر انتگرال شدت تابش مؤثر در مدت زمان پرتوگیری است و از معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$H_{eff} = \int_{t_1} E_{eff}(t)\, dt \qquad (۱۱)$$

که در آن:

H_{eff} دز تابشی مؤثر بر حسب *ژول بر مترمربع* (J/m^2)؛

$E_{eff}(t)$ شدت تابش مؤثر در لحظه t برحسب *وات بر مترمربع* (W/m^2)؛ و

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

چنانچه شدت تابش مؤثر در مدت پرتوگیری ثابت باشد، دز تابشی مؤثر از معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$H_{eff} = E_{eff}\, t_1 \qquad (۱۲)$$

که در آن، E_{eff} شدت تابش مؤثر برحسب *وات بر مترمربع* (W/m^2) است.

یادآوری- چنانچه دز تابشی مؤثر برای حفاظت از چشم در برابر اثرات گرمایی نور بر شبکیه محاسبه شود، آن را به H_R و اگر برای اثرات فتوشیمیایی نور محاسبه شود، آن را به H_B نمایش می‌دهند.

۲۶-۳
زاویه دید چشمه یا منبع (زاویه دید)
Angular subtense α

زاویه دید چشمه یا منبع (اندازه منبع)[1]، α، بر حسب *رادیان* (rad) است و از معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$\alpha = \frac{d_S}{r} \qquad (۱۳)$$

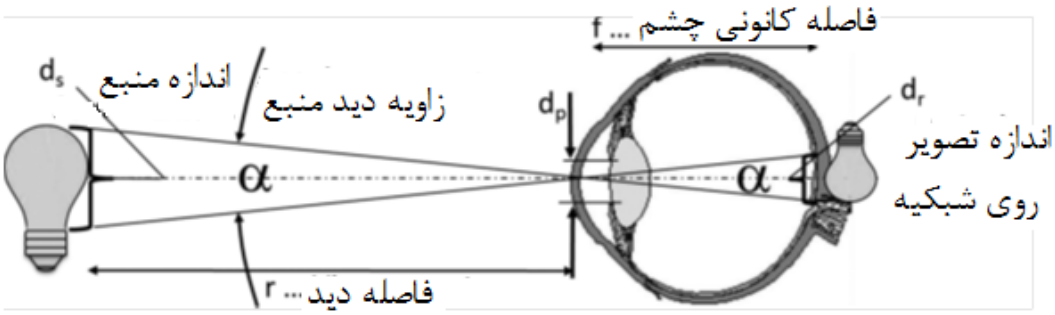
که در آن:

r فاصلهٔ 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.

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



شکل ۱- نحوه تعیین زاویه دید منبع

اگر ناحیه تابش منبع نور دایره‌ای شکل باشد، d_s قطر دایره است. چنانچه ناحیه تابش دایره‌ای شکل نباشد، d_s برابر است با میانگین عددی کوتاه‌ترین و بلندترین ابعاد ناحیه تابش منبع. در این استاندارد، "زاویه دید منبع یا چشمه" به اختصار "زاویه دید" خوانده می‌شود.

۲۷-۳
زاویه دید بیشینه
Maximum angular subtense α_{max}

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

[1] Source size
[2] Mean light source dimention

جدول ۱- مقادیر زاویه دید بیشینه در شرایط مختلف

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

۲۸-۳
زاویه دید کمینه

Minimum angular subtense α_{min}

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

۲۹-۳
زاویه فضایی

Solid angle Ω

زاویه فضاییِ رأس مخروطی است که از یک کره جدا شده‌است، به‌گونه‌ای که رأس مخروط روی مرکز کره باشد. این زاویه مطابق با شکل ۲، از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \qquad (۱۴)$$

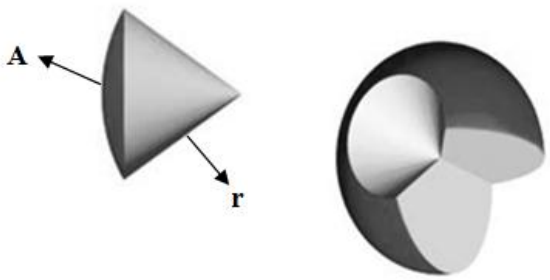
که در آن:

A مساحت قطاع کرویِ مخروط جدا شده بر حسب متر مربع (m^2) و

r شعاع کره بر حسب متر (m) است.

Ω بر حسب *استرادیان* (Sr) است.

یادآوری - زاویه فضایی یک کره کامل برابر با ۴π استرادیان می‌باشد.



شکل ۲- نحوه تعیین مقدار زاویه فضایی

۳۰-۳

سطح مرجع

Reference level

مقادیر جذر میانگین مربعات (rms) و پیک میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی و چگالی توان در محیط و جریان‌های تماسی که افراد می‌توانند بدون ایجاد اثر آسیب‌رسان و با فاکتورهای ایمنی قابل‌قبول در معرض آن‌ها قرار گیرند. در صورتی که حدود کمیت‌های پایه رعایت شده باشند، افزایش از سطوح مرجع برای پرتوگیری از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی (در این استاندارد) می‌تواند اتفاق بیفتد. بنابراین، این سطوح، حدود کمیت‌های کاربردی یا جانشین هستند که برای تطابق با محدودیت‌های پایه می‌توانند به‌کار روند.

۳۱-۳

سیستم اعصاب مرکزی

Central nervous system

بخشی از سیستم عصبی مهره‌داران شامل مغز و نخاع است. این سیستم شامل اعصاب محیطی نمی‌شود.

۳۲-۳

شدت تابش

Irradiance ***E***

توان تابیده شده به واحد سطح در یک نقطه را شدت تابش در آن نقطه می‌نامند. به عبارت دیگر، شدت تابش در یک نقطه نسبت توان تابیده‌شده به جزئی از یک سطح به مساحت آن جزء است.

یادآوری- یکای شدت تابش در دستگاه سیستم بین‌المللی یکاها، *وات بر مترمربع* (W/m^2) است.

۳۳-۳

شدت تابش مؤثر

Effective Irradiance E_{eff}

کمیتی است که با درنظرگرفتن حساسیت بدن به طول‌موج‌های مختلف با معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$E_{eff} = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda \; S_\lambda \; \Delta\lambda \qquad (۱۵)$$

که در آن:

E_λ شدت تابش پرتو در طول‌موج λ برحسب *وات بر مترمربع بر نانومتر* ($W/m^2.nm$)؛

S_λ ضریب نسبی تأثیر پرتو درطول‌موج‌های مختلف، بربدن انسان؛ این ضریب واحد ندارد؛ و

$\Delta\lambda$ فاصلهٔ دو طول‌موج متوالی که E_λ در آن دو طول‌موج اندازه‌گیری می‌شود. یکای $\Delta\lambda$، *نانومتر* (nm) است. در نواحی که تغییرات S_λ سریع است، باید $\Delta\lambda$ کوچک‌تر انتخاب شود؛ و

λ_1 و λ_2 طول‌موج‌هایی هستند که شدت تابش مؤثر در محدوده آن‌ها به‌دست می‌آید. یکای آن‌ها *نانومتر* (nm) است.

یادآوری ۱- یکای شدت تابش مؤثر در دستگاه بین‌المللی یکاها، *وات بر متر مربع* (W/m^2) است.

یادآوری ۲- چنانچه شدت تابش مؤثر برای حفاظت از چشم در برابر اثرات گرمایی نور بر شبکیه محاسبه شود، آن را به E_R و اگر برای اثرات فتوشیمیایی نور محاسبه شود، آن را به E_B نمایش می‌دهند.

۳۴-۳
شدت صوت
Sound intensity I

مقدار انرژی مکانیکی عبوری از واحد سطح عمود بر راستای انتشار صوت در هرثانیه است.

یادآوری- یکای شدت صوت در دستگاه بین‌المللی یکاها، *وات بر مترمربع* (W/m^2) است.

۳۵-۳
شدت صوت مرجع
Reference sound intensity I_r

کم‌ترین شدت صوتی است که گوش انسان در حساس‌ترین فرکانس قادر به‌شنیدن آن می‌باشد. حساس‌ترین فرکانس برای گوش تقریباً یک کیلوهرتز و شدت صوت مرجع $۱۰^{-۱۲}$ وات بر مترمربع است.

۳۶-۳
شدت میدان الکتریکی
Electric field strength E

اندازه بردار الکتریکیِ میدان الکترومغناطیسی است که بنابه تعریف با نیروی وارد بر واحد بار الکتریکی در نقطه مورد نظر از میدان برابر است.

یادآوری- یکای شدت میدان الکتریکی در دستگاه بین‌المللی یکاها، *نیوتن بر کولن* (N/C) یا *ولت بر متر* (V/m) است.

۳۷-۳
شدت میدان مغناطیسی
Magnetic field strength H

اندازه بردار مغناطیسی میدان الکترومغناطیسی است، و مقدار آن از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$H = \frac{B}{\mu} \qquad (۱۶)$$

که در آن:

B چگالی شار مغناطیسی بر حسب *تسلا* (T)؛ و

μ تراوائی مغناطیسی محیط بر حسب *تسلامتر برآمپر* (T.m/A) است.

یادآوری- یکای شدت میدان مغناطیسی در دستگاه بین‌المللی یکاها، *آمپر بر متر* (A/m) می‌باشد.

۳۸-۳
شدت میدان الکتریکی مؤثر
Effective electric field strength E_{eff}

جذر میانگین مربع شدت میدان الکتریکی در مدت زمان t از بازه زمانی پرتوگیری است.

$$E_{eff} = \sqrt{\frac{1}{t}\int_0^t E^2(t')dt'} \qquad (۱۷)$$

که در آن:

E شدت میدان الکتریکی بر حسب *ولت بر متر* (V/m)؛ و

t مدت زمان بر حسب *ثانیه* (s) است.

یادآوری- یکای شدت میدان الکتریکی مؤثر در دستگاه بین‌المللی یکاها، *نیوتن بر کولن* (N/C) یا *ولت بر متر* (V/m) است.

۳۹-۳
شدت میدان مغناطیسی مؤثر

Effective magnetic field strength H_{eff}

جذر میانگین مربع شدت میدان مغناطیسی در مدت زمان t از بازه زمانی پرتوگیری است.

$$H_{eff} = \sqrt{\frac{1}{t}\int_0^t H^2(t')dt'} \qquad (۱۸)$$

که در آن:

H شدت میدان مغناطیسی بر حسب *آمپر بر متر* (A/m)؛ و

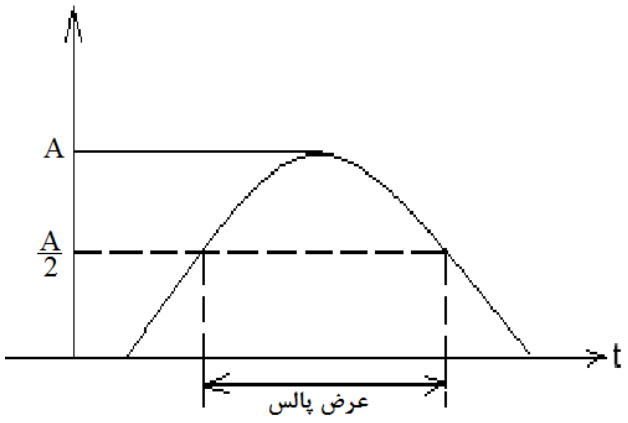
t مدت زمان بر حسب *ثانیه* (s) است.

یادآوری- یکای شدت میدان مغناطیسی مؤثر در دستگاه بین‌المللی یکاها، *آمپر بر متر* (A/m) است.

۴۰-۳
عرض پالس

Pulse duration

مدت زمانی است که طول می‌کشد 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 شده‌است.



شکل ۳- عرض پالس

۴۱-۳
فرکانس میانه اکتاو

Mid frequency of octave band

فرکانسی است که مقدار آن مساوی میانگین بالاترین و پایین‌ترین فرکانس آن اکتاو می‌باشد و از معادله زیر به دست می‌آید.

$$f_o = \frac{f_H + f_L}{2} = \frac{2\,f_L + f_L}{2} = \frac{3\,f_L}{2} \qquad (۱۹)$$

که در آن:

f_o فرکانس میانه؛

f_H بالاترین فرکانس اکتاو؛ و

f_L *پایین* ترین فرکانس اکتاو است.

۴۲-۳
فشار صوت

Acoustic pressure P

نیرویی‌است که توسط امواج صوتی به واحد سطح وارد می‌شود.

یادآوری- یکای فشار صوت در دستگاه بین‌المللی یکاها، *نیوتن بر متر مربع* (N/m^2) یا *پاسکال* (Pa) است.

۴۳-۳
فشار صوت مرجع

Reference acoustic pressure P_r

کم‌ترین فشار صوتی است، که گوش انسان در حساس‌ترین فرکانس (تقریباً یک کیلوهرتز) احساس می‌کند و مقدار آن برابر است با ۲۰ میکرو پاسکال یا ۲×۱۰^{-۵} پاسکال.

۴۴-۳
فعالیت پرتوی

Practice

هرگونه فعالیت بشری است که منجر به افزایش منابع یا مسیرهای پرتوگیری یا تعداد افراد پرتودیده شود، یا با تغییر مسیرهای پرتوگیری از منابع موجود، باعث افزایش پرتوگیری یا احتمال پرتوگیری افراد و یا تعداد افراد پرتودیده گردد.

۴۵-۳
کمیت‌های پایه

Basic quantity

کمیت‌هایی هستند که مستقیماً با اثرات بیولوژیکی زیانبار پرتوهای الکترومغناطیسی مرتبط هستند، نظیر شدت میدان الکتریکی، شدت میدان مغناطیسی و چگالی توان در بافت بدن.

۴۶-۳
منبع

Source

هر عامل تولید یا انتشار پرتوی غیریونساز است که بتواند باعث پرتوگیری شود.

۴۷-۳
میدان دور (موج تخت)

Far field (Plane wave)

ناحیه‌ای از میدان‌های الکترومغناطیسی است که در آن بردارهای میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی بر هم عمودند. در این ناحیه، بین شدت میدان الکتریکی، E، شدت میدان مغناطیسی، H، و چگالی توان یا چگالی شار الکترومغناطیسی، S، روابط زیر برقرار است.

$$E = H\ Z \qquad (۲۰)$$

$$S = E\ H \qquad (۲۱)$$

$$S = \frac{E^{2}}{Z} = Z\ H^{2} \qquad (۲۲)$$

که در آن‌ها:

E شدت میدان الکتریکی بر حسب *ولت بر متر* (V/m)؛

H شدت میدان مغناطیسی بر حسب *آمپر بر متر* (A/m)؛

S چگالی توان بر حسب *وات بر مترمربع* ($W/m^{۲}$)؛ و

Z امپدانس فضای آزاد است که برابر با π ۱۲۰ اُهم می‌باشد.

نحوه تعیین میدان دور به نوع منبع بستگی دارد و برای انواع آنتن‌ها، با روابط جداگانه‌ای تعریف می شود که در کتب آنتن آمده است.

۴۸-۳
میدان نزدیک

Near field

ناحیه بین منبع پرتو رادیوئی و میدان دور، میدان نزدیک نامیده‌می‌شود. دراین ناحیه، رفتار میدان با رفتار موج تخت مشابه نیست.

۴۹-۳
واحد قانونی

Regulatory body

براساس قانون حفاظت در برابر اشعه، واحد قانونی موظف به نظارت بر حسن اجرای مقررات، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مربوطه می‌باشد. این مسئولیت‌ها از طرف سازمان انرژی اتمی‌ایران، به‌عنوان واحد قانونی، به مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور تفویض شده‌است.

۴ طبقه‌بندی انواع پرتوهای غیریونساز و حدود پرتوگیری

جدول ۲ تقسیم‌بندی پرتوهای غیریونساز را نشان می‌دهد.

جدول ۲- تقسیم‌بندی پرتوهای غیریونساز

ردیف	نوع پرتو	فرکانس Hz	طول‌موج در هوا
۱	فرابنفش[a] (UV)	$۷/۵۰ \times ۱۰^{۱۴} - ۳ \times ۱۰^{۱۵}$	۱۰۰ – ۴۰۰ nm
۲	نور مرئی[b] (VS)	$۳/۸۵ \times ۱۰^{۱۴} - ۷/۵۰ \times ۱۰^{۱۴}$	۴۰۰ - ۷۸۰ nm
۳	فروسرخ[c] (IR)	$۳/۰۰ \times ۱۰^{۱۱} - ۳/۸۵ \times ۱۰^{۱۴}$	۷۸۰ - $۱۰^{۶}$ nm
۴	مایکروویو[d] (MW)	$۳/۰۰ \times ۱۰^{۸} - ۳/۰۰ \times ۱۰^{۱۱}$	۱ - ۱۰۰۰ mm
۵	رادیوئی[e] (RF)	$۳/۰۰ \times ۱۰^{۵} - ۳/۰۰ \times ۱۰^{۸}$	۱ - ۱۰۰۰ m
۶	فرکانس کم[f] (LF)	$۳/۰۰ \times ۱۰^{۴} - ۳/۰۰ \times ۱۰^{۵}$	۱ -۱۰ km
۷	فرکانس بسیار کم[g] (VLF)	۳۰۰ - $۳/۰۰ \times ۱۰^{۴}$	۱۰ - ۱۰۰۰ km
۸	فرکانس فوق‌العاده کم[h] (ELF)	< ۳۰۰	> ۱۰۰۰ km
۹	میدان مغناطیسی ثابت[i] (DC)	۰	---------
۱۰	فراصوت[j] (US)	> ۲۰۰۰۰	---------

[a] Ultraviolet radiation
[b] Visible radiation
[c] Infrared radiation
[d] Microwave radiation
[e] Radiofrequency radiation
[f] Low frequency radiation
[g] Very low frequency radiation
[h] Extremely low frequency radiation
[i] Direct Current
[j] Ultrasound

۴-۱ حدود کمیت‌های 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 GHz ۱۰ درج شده است. در فرکانس‌های بالاتر از GHz ۱۰، چگالی توان روی سطح بدن، کمیت پایه محسوب می‌شود و حدود آن همان مقادیری است که در جدول‌های 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 kHz ۱۰۰ نشان داده شده است.

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

نوع پرتوگیری	حدود پرتوگیری						
	محدوده‌ی فرکانسی	چگالی جریان موثر (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 (دست‌ها و پاها)[c,d] W/Kg	شدت میدان الکتریکی مؤثر[f] (سیستم اعصاب مرکزی سر)، E v/m	شدت میدان الکتریکی مؤثر[f] (بافت‌های سرو بدن)، E v/m
شغلی	۱ -۴ Hz	$۴۰ \div f$	–	–	–	$۵/۰۰ \times ۱۰^{-۱} \div f$	$۸/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$
	۴ -۱۰ Hz	۱۰	–	–	–	$۵/۰۰ \times ۱۰^{-۱} \div f$	$۸/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$
	۱۰ -۲۵ Hz	۱۰	–	–	–	$۵/۰۰ \times ۱۰^{-۲}$	$۸/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$
	۲۵ -۴۰۰ Hz	۱۰	–	–	–	$۲/۰۰ \times ۱۰^{-۳} \times f$	$۸/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$
	۰/۴ -۱ kHz	۱۰	–	–	–	$۸/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$	$۸/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$
	۱ -۳ kHz	$f \div ۱۰۰$	–	–	–	$۸/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$	$۸/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$
	۳ -۱۰۰ kHz	$f \div ۱۰۰$	–	–	–	$۲/۷۰ \times ۱۰^{-۴} \times f$	$۲/۷۰ \times ۱۰^{-۴} \times f$
	۰/۱ -۱۰ MHz	$f \div ۱۰۰$	$۴/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$	$۱/۰۰ \times ۱۰^{۱}$	$۲/۰۰ \times ۱۰^{۱}$	$۲/۷۰ \times ۱۰^{-۴} \times f$	$۲/۷۰ \times ۱۰^{-۴} \times f$
	۰/۰۱ -۱۰ GHz	–	$۴/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$	$۱/۰۰ \times ۱۰^{۱}$	$۲/۰۰ \times ۱۰^{۱}$	-	–
مردم	۱ -۴ Hz	$۸ \div f$	–	–	–	$۱/۰۰ \times ۱۰^{-۱} \div f$	$۴/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$
	۴ -۱۰ Hz	۲	–	–	–	$۱/۰۰ \times ۱۰^{-۱} \div f$	$۴/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$
	۱۰ -۲۵ Hz	۲	–	–	–	$۱/۰۰ \times ۱۰^{-۲}$	$۴/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$
	۲۵ -۱۰۰۰ Hz	۲	–	–	–	$۴/۰۰ \times ۱۰^{-۴} \times f$	$۴/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$
	۱ -۳ kHz	$f \div ۵۰۰$	–	–	–	$۴/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$	$۴/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$
	۳ -۱۰۰ kHz	$f \div ۵۰۰$	–	–	–	$۱/۳۵ \times ۱۰^{-۴} \times f$	$۱/۳۵ \times ۱۰^{-۴} \times f$
	۰/۱ -۱۰ MHz	$f \div ۵۰۰$	$۸/۰۰ \times ۱۰^{-۲}$	۲/۰۰	۴/۰۰	$۱/۳۵ \times ۱۰^{-۴} \times f$	$۱/۳۵ \times ۱۰^{-۴} \times f$
	۰/۰۱ -۱۰ GHz	–	$۸/۰۰ \times ۱۰^{-۲}$	۲/۰۰	۴/۰۰	-	-

یادآوری: مقادیر این جدول از منابع ۱ و ۲ در بند پیش‌گفتار اخذ شده‌است.

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

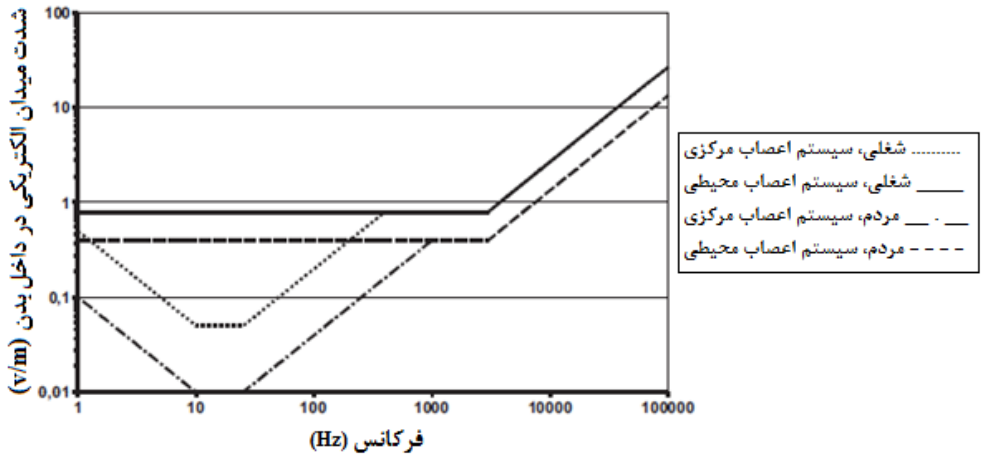
[b] به‌دلیل غیریکنواختی الکتریکی بافت‌های بدن، چگالی‌های جریان باید بر یک سطح مقطع cm^2 ۱ عمود بر مسیر جریان متوسط‌گیری شوند.

[c] مقادیر SAR در بازه‌های زمانی ۶ دقیقه‌ای متوسط‌گیری می‌شوند.

[d] SAR متوسط موضعی باید در هر ۱۰ گرم از بافت به‌هم پیوسته به‌دست آید؛ بیشترین SAR به‌دست آمده از این طریق باید برای برآورد پرتوگیری استفاده شود. (منظور این است که SAR باید برای هر ۱۰gr تعیین شود و از مجموعه SARهای به‌دست آمده بیشترین مقدار در نظرگرفته شود).

[e] برای پالس‌ها با عرض t_p، فرکانس معادلی که در حدود پایه به‌کار می‌رود، باید از معادله ($f = ۱ \div ۲\ t_p$) محاسبه شود. علاوه بر این برای پرتوگیری‌های پالسی در محدوده‌ی 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 پایه‌ی اضافی توصیه می‌شود. در این شرایط SA میانگین‌گیری شده بر ۱۰ گرم بافت، نباید از ۱۰ mJ/kg برای شاغلین و از ۲ mJ/kg برای عموم مردم، بیشتر شود.

[f] برای تعیین E داخل بدن، باید میانگین بردار E در حجمی معادل $۲\times۲\times۲\ mm^3$ به دست آید. آنگاه برای هر بافت، مقدار بیشینه شدت میدان الکتریکی به دست آمده، باید با حدود ارائه شده مقایسه شود. درصورتی که محدوده یک بافت کمتر از حجم فوق باشد، میانگین‌گیری روی همان محدوده بافت صورت گیرد.



شکل ۴- حدود پایه برای پرتوگیری شغلی و مردم بر حسب شدت میدان الکتریکی داخل بدن و تاثیرات آن بر سیستم اعصاب مرکزی و سیستم اعصاب محیطی بدن

۲-۴ سطوح مرجع (حدود کمیت‌های کاربردی) برای پرتوگیری شغلی و مردم

۱-۲-۴ سطوح مرجع پرتوگیری شغلی برای پرتوهای الکترومغناطیسی ELF، VLF، LF، RF و MW

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

جدول ۴- حدودپرتوگیری شغلی برای پرتوهای الکترومغناطیسی ELF ، VLF، LF، RF 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، S_{eq} W/m^2
تا ۱ Hz	–	$۱/۶۳ \times ۱۰^{۵}$	$۲/۰۰ \times ۱۰^{۵}$	–
۱ Hz - ۸ Hz	$۲/۰۰ \times ۱۰^{۴}$	$۱/۶۳ \times ۱۰^{۵} \div f^{۲}$	$۲/۰۰ \times ۱۰^{۵} \div f^{۲}$	–
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	$۱/۷۰ \times ۱۰^{۲}$	$۸/۰۰ \times ۱۰^{۱}$	$۱/۰۰ \times ۱۰^{۲}$	–
۰/۱MHz -۳ MHz	$۱/۷۰ \times ۱۰^{۲}$	$۱/۶۰ \div f$	$۲/۰۰ \div f$	–
۳MHz -۱۰ MHz	$۶/۱۰ \times ۱۰^{۲} \div f$	$۱/۶۰ \div f$	$۲/۰۰ \div f$	–
۱۰MHz -۰/۴ GHz	$۶/۱۰ \times ۱۰^{۱}$	$۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱}$	$۲/۰۰ \times ۱۰^{-۱}$	$۱/۰۰ \times ۱۰^{۱}$
۰/۴ GHz -۲ GHz	$۳/۰۰ \times \sqrt{f}$	$۸/۰۰ \times ۱۰^{-۳} \times \sqrt{f}$	$۱/۰۰ \times ۱۰^{-۲} \times \sqrt{f}$	$f \div (۴/۰۰ \times ۱۰^{۱})$
۲GHz -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 پیش‌گفتار اخذ شده‌است.				

ادامه جدول ۴- حدودپرتوگیری شغلی برای پرتوهای الکترومغناطیسی ELF ، VLF، LF، RF و MW

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

[b] حدود این جدول طوری درنظر گرفته شده است که حدود پایه مراعات شود. در صورتی که بتوان ثابت کرد که حدود پایه رعایت می‌شود و اثرات مضر غیرمستقیم نیز بروز نمی‌کند، می‌توان در میدان‌های بالاتر از حدود ارائه شده در این جدول پرتوگیری نمود.

[c] در فرکانس‌های کم‌تر از ۱۰۰ kHz، مقادیر E و H مقادیر موثر در یک دوره تناوب هستند.

[d] در فرکانس‌های 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 فرکانس‌ها حدود سخت‌گیرانه‌تر 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 فرکانس‌های ۱۰۰ kHz الی ۱۰GHz، باید مقادیر شدت میدان الکتریکی مؤثر (E) ، شدت میدان مغناطیسی مؤثر (H) و چگالی توان موج تخت (S_{eq}) در مدت ۶دقیقه ، با مقادیر جدول مقایسه شود (به عبارت دیگر مقادیر S_{eq} ، E^2، H^2 و B^2 در بازه‌های زمانی ۶ دقیقه متوسط‌گیری شوند.).

[f] برای بیشینه مقادیر E و H تا فرکانس ۱۰۰ kHz به شکل‌های ۳ و ۴ و برای فرکانس‌های بین ۱۰۰ kHz و ۱۰ MHz به شکل‌های ۵ و ۶ مراجعه شود. بین ۱۰۰ kHz و ۱۰ MHz مقادیر بیشینه شدت میدان، با استفاده از درون‌یابی[1] 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 ۱۰ MHz به‌دست می‌آید. در فرکانس‌های بالاتر از ۱۰ MHz توصیه می‌شود 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 میدان‌ها بیشتر نشود.

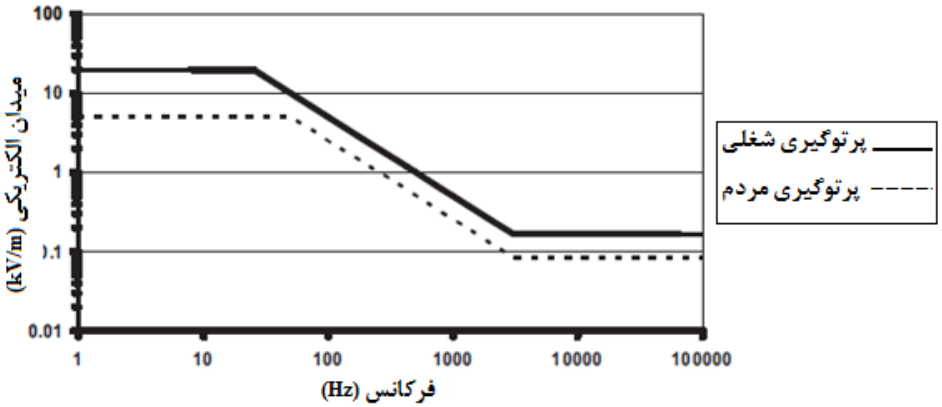
[g] برای فرکانس‌های بالاتر از ۱۰ GHz، S_{eq}، E_{eff} و H_{eff} باید در مدت $68/f^{1.05}$ دقیقه به‌دست آید، به عبارت دیگر مقادیر S_{eq} ، E^2، H^2 و B^2 در بازه زمانی $68/f^{1.05}$ دقیقه متوسط‌گیری شوند، (f برحسب گیگاهرتز است) و با جدول مقایسه گردند.

۴-۲-۲ سطوح مرجع پرتوگیری مردم برای پرتوهای الکترومغناطیسی ELF، VLF، LF، RF و MW

جدول ۵، سطوح مرجع (حدود کمیت‌های کاربردی) پرتوگیری مردم با عنوان حدود پرتوگیری مردم برای پرتوهای الکترومغناطیسی ELF، VLF، LF، RF و MW را نشان می‌دهد.

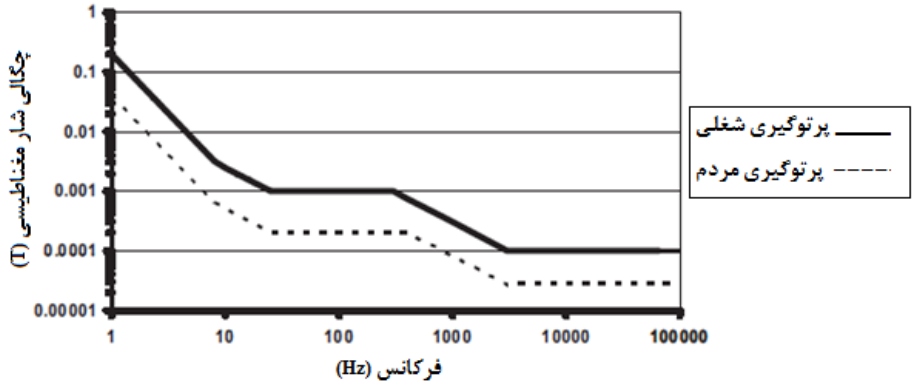
نمودارهای شکل‌های ۵ و ۶ حدود پرتوگیری شغلی و مردم در میدان‌های الکترومغناطیسی متغیر با زمان در بازه فرکانسی ۱ Hz تا ۱۰۰ kHz را بر اساس جدول‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد.

نمودارهای شکل‌های ۷ و ۸ حدود پرتوگیری شغلی و مردم در میدان‌های الکترومغناطیسی متغیر با زمان در فرکانس‌های ۱۰۰ kHz به بالا را بر اساس جدول‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد.

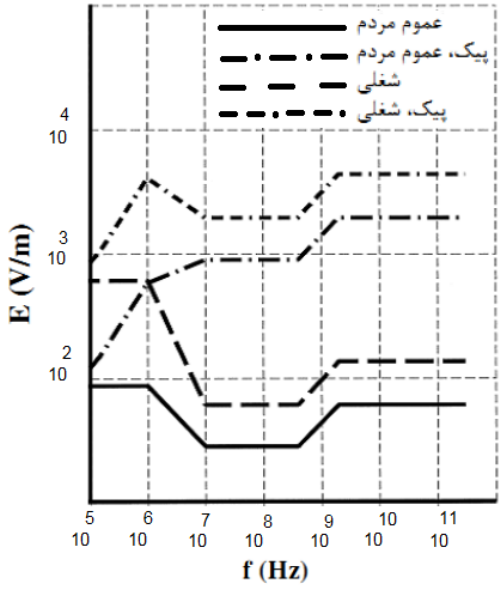


شکل ۵- سطوح مرجع برای میدان‌های الکتریکی متغیر با زمان در بازه فرکانسی ۱ Hz تا ۱۰۰ kHz

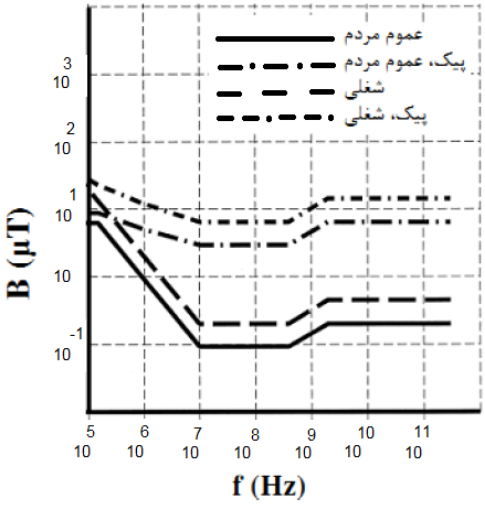
[1]- Interpolation



شکل ۶- سطوح مرجع برای میدان‌های مغناطیسی متغیر با زمان در بازه فرکانسی ۱ Hz تا ۱۰۰ kHz



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



شکل ۸- سطوح مرجع برای میدان مغناطیسی متغیر بازمان ۱۰۰ kHz تا ۳۰۰ GHz

جدول ۵- حدودپرتوگیری مردم برای پرتوهای الکترومغناطیسی ELF، VLF، LF، RF 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، S_{eq} W/m^2
تا ۱ Hz	–	$3/20 \times 10^{4}$	$4/00 \times 10^{4}$	–
۱ Hz - ۸ Hz	$5/00 \times 10^{3}$	$3/20 \times 10^{4} \div f^{2}$	$4/00 \times 10^{4} \div f^{2}$	–
۸ Hz -۲۵ Hz	$5/00 \times 10^{3}$	$4/00 \times 10^{3} \div f$	$5/00 \times 10^{3} \div f$	–
۲۵ Hz -۵۰ Hz	$5/00 \times 10^{3}$	$1/60 \times 10^{2}$	$2/00 \times 10^{2}$	–
۵۰ Hz -۴۰۰ Hz	$2/50 \times 10^{5} \div f$	$1/60 \times 10^{2}$	$2/00 \times 10^{2}$	–
۰/۴ kHz -۳ kHz	$2/50 \times 10^{2} \div f$	$6/40 \times 10^{1} \div f$	$8/00 \times 10^{1} \div f$	–
۳ kHz -۱۰۰ kHz	$8/30 \times 10^{1}$	$2/10 \times 10^{1}$	$2/70 \times 10^{1}$	–
۰/۱MHz -۱ MHz	$8/30 \times 10^{1}$	$5/00$	$6/25$	–
۱ MHz -۱۰ MHz	$8/70 \times 10^{1} \div \sqrt{f}$	$7/30 \times 10^{-1} \div f$	$9/20 \times 10^{-1} \div f$	–
۱۰MHz -۰/۴ GHz	$2/80 \times 10^{1}$	$7/30 \times 10^{-2}$	$9/20 \times 10^{-2}$	$2/00$
۰/۴ GHz -۲ GHz	$1/375 \times \sqrt{f}$	$3/70 \times 10^{-3} \times \sqrt{f}$	$4/60 \times 10^{-3} \times \sqrt{f}$	$f \div (2/00 \times 10^{2})$
۲GHz -۳۰۰ GHz	$6/10 \times 10^{1}$	$1/60 \times 10^{-1}$	$2/00 \times 10^{-1}$	$1/00 \times 10^{1}$

یادآوری: مقادیر این جدول از منابع ۱ و ۲ در بند پیش‌گفتار اخذ شده‌است.

[a] در هرسطر یکای فرکانس (f)، همان یکایی است که درآن 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 می‌شود و اثرات مضر غیرمستقیم نیز بروز نمی‌کند، می‌توان در میدان‌های بالاتر از حدود ارائه شده در این جدول پرتوگیری نمود.

[c] در فرکانس‌های کم‌تر از ۱۰۰ kHz، مقادیر E و H مقادیر موثر در یک دوره تناوب هستند.

[d] در فرکانس‌های 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 فرکانس‌ها حدود سخت‌گیرانه‌تر که مربوط به سایر اثرات است در جدول آمده است. به این علت حدود در فرکانس ۱۰۰ kHz برای H و B ناپیوسته است.

[e] برای فرکانس‌های۱۰۰ 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 مقادیر S_{eq} ، E^2، H^2 و B^2 در بازه‌های زمانی ۶ دقیقه متوسط‌گیری شوند).

[f] برای بیشینه مقادیر E و H تا فرکانس ۱۰۰ kHz شکل‌های ۳ و ۴ و برای فرکانس‌های بین ۱۰۰ kHz و ۱۰ MHz شکل‌های ۵ و ۶ ملاحظه شود. بین ۱۰۰ kHz و ۱۰ MHz مقادیر بیشینه شدت میدان، با استفاده از درون‌یابی[1] از مقدار ۱/۵ برابر حد شدت مؤثر E یا H در فرکانس ۱۰۰ kHz تا ۳۲ ۳۲ برابر حد شدت مؤثر E یا H در فرکانس ۱۰ MHz به‌دست می‌آید. در فرکانس‌های بالاتر از ۱۰MHz توصیه می‌شود که میانگین چگالی توان موج تخت، روی عرض هر پالس از ۱۰۰۰ برابر حد گفته‌شده برای (S_{eq}) بیشتر نشود. این معادل آن‌است که E و H از ۳۲ برابر حدود این میدان‌ها بیشتر نشود.

[g] برای فرکانس‌های بالاتر از ۱۰ GHz، S_{eq}، E_{eff} و H_{eff} باید در مدت $68/f^{1.05}$ دقیقه به‌دست آید، به عبارت دیگر مقادیر S_{eq} ، E^2، H^2 و B^2 در بازه زمانی $68/f^{1.05}$ دقیقه متوسط‌گیری، (f برحسب گیگاهرتز است) و با جدول مقایسه شوند.

[1]- Interpolation

۳-۴ حدود جریان‌های تماسی و القایی شغلی و مردم

در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی تا فرکانس ۱۱۰ مگاهرتز، چنانچه در اثر تماس با رساناها یا منابع پرتو، مقدار جریان تماسی از حدود معینی بیشتر شود احتمال شوک و سوختگی وجود دارد. در این موارد باید حدودی که در جدول ۶ ارائه شده‌است، 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 ۶- حدود جریان تماسی برای پرتوگیری مردم و شغلی تا فرکانس ۱۱۰ مگاهرتز

نوع پرتو گیری	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 -۱۰۰kHz	$۲/۰۰ \times ۱۰^{-۱} \times f^{a}$
	۱۰۰ kHz -۱۱۰ MHz	$۲/۰۰ \times ۱۰^{۱}$
یادآوری ۱: مقادیر این جدول از منبع ۲ در بند پیش‌گفتار اخذ شده‌است. **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} برحسب kHz می‌باشد.		

در بازه فرکانسی ۱۰ MHz تا ۱۱۰ MHz، حدود جریان‌های القایی در دست‌ها و پاها برای پرتوگیری شغلی و مردم در جدول ۷ ارائه شده‌است.

جدول ۷- حدود جریان القایی در دست‌ها و پاها برای پرتوگیری مردم و شغلی در بازه فرکانسی۱۰ MHz تا ۱۱۰MHz.

نوع پرتوگیری	حد جریان القایی mA
شغلی	$۱/۰۰ \times ۱۰^{۲}$
مردم	$۴/۵۰ \times ۱۰^{۱}$
یادآوری ۱: مقادیر این جدول از منبع ۲ در بند پیش‌گفتار اخذ شده‌است. **یادآوری ۲:** حد پرتوگیری مردم برابر با حد پرتوگیری شغلی تقسیم بر $\sqrt{۵}$ است. **یادآوری۳:** برای تطبیق با حدود پایه‌ی SAR موضعی، جذرِ مقدار متوسط‌گیری شده‌ی زمانیِ مربع جریان القایی، در هر بازه زمانی ۶ دقیقه، اساسِ حدود پایه را شکل می‌دهد. (شدت جریان القایی مؤثر در ۶ دقیقه باید با حدود این جدول مقایسه شود)	

۴-۴ پرتوگیری هم‌زمان از میدان‌های الکترومغناطیسی با چند فرکانس مختلف

برای پرتوگیری هم‌زمان از چند میدان با فرکانس‌های مختلف، اثرات آن‌ها جمع‌پذیر است. جمع‌پذیری باید جداگانه برای اثرات حرارتی و تحریک الکتریکی و حدود پایه مربوطه مراعات شوند. بندهای بعدی برای فرکانس‌های مختلف در شرایط عملی پرتوگیری به‌کار می‌روند.

۴-۴-۱ کمیت‌های پایه

کمیت‌های پایه برای فرکانس‌های تا ۱۰ مگاهرتز، چگالی جریان القایی و شدت میدان الکتریکی داخل بدن هستند که باید مطابق با فرمول‌های زیر جمع شوند و مقدار کل از یک کم‌تر باشد.

$$\sum_{i=1\ Hz}^{10\ MHz} \frac{J_i}{J_{L,i}} \le 1 \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{i=1\ Hz}^{10\ MHz} \frac{E_i}{E_{L,i}} \le 1 \qquad (۲۴)$$

که در آن‌ها:

J_i چگالی جریان القا شده بر حسب آمپر بر مترمربع (A/m^2) در فرکانس i؛

$J_{L,i}$ حد چگالی جریان بر حسب آمپر بر مترمربع (A/m^2) 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

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

برای فرکانس‌های بیش‌تر از ۱۰۰ kHz، مقادیر SAR و چگالی توان کمیت‌های پایه هستند و باید مطابق با فرمول زیر جمع شوند و مقدار کل از یک کم‌تر باشد.

$$\sum_{i=100\ kHz}^{10\ GHz} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{i>10\ GHz}^{300\ GHz} \frac{S_i}{S_L} \le 1 \qquad (۲۵)$$

که در آن:

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

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

S_i چگالی توان بر حسب وات بر متر مربع (W/m^2) در فرکانس i ؛ و

S_L حد چگالی توان بر حسب وات بر مترمربع (W/m^2) در فرکانس i می‌باشد که در جدول‌های ۴ و ۵ آمده است.

۲-۴-۴ سطوح مرجع (کمیت‌های کاربردی)

کمیت‌های کاربردی، شدت میدان الکتریکی، شدت میدان مغناطیسی و چگالی توان در محیط هستند. برای کاربردهای عملی، معیارهای زیر برای حدود شدت میدان‌ها به کار می‌رود. برای پیشگیری از اثرات آسیب‌رسان چگالی جریان القا شده و تحریک الکتریکی، تا فرکانس ۱۰MH، دو فرمول زیر برای حدود میدان‌ها به‌کار می‌رود:

$$\sum_{j=1\,Hz}^{10\,MHz} \frac{E_j}{E_{L,j}} \le 1 \qquad (۲۶)$$

$$\sum_{j=1\,Hz}^{10\,MHz} \frac{H_j}{H_{L,j}} \le 1 \qquad (۲۷)$$

که در آن‌ها:

E_j 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 جدول‌های ۴ و ۵؛

H_j 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 جدول‌های ۴ و ۵ هستند.

به‌منظور پیشگیری از اثرات گرمایی میدان‌های الکترومغناطیسی در بدن برای فرکانس‌های بیش از ۱۰۰ کیلوهرتز، دو فرمول زیر باید به‌کار گرفته شوند:

$$\sum_{i=100\,kHz}^{300\,GHz} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}}\right)^2 \le 1 \qquad (۲۸)$$

و

$$\sum_{j=100\,kHz}^{300\,GHz} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}}\right)^2 \le 1 \qquad (۲۹)$$

که در آن‌ها:

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

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

H_j 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 جدول‌های ۴ و ۵ است.

۴-۴-۳ جریان‌های تماسی و القایی

در فرکانس‌های بالاتر از ۱۰ مگاهرتز برای جریان‌های القایی در دست و پا و در فرکانس‌های بالاتر از یک هرتز، برای جریان‌های تماسی حدود زیر اعمال می‌شود.

$$\sum_{k=10\ MHz}^{110\ MHz} \left(\frac{I_k}{I_{L,k}} \right)^2 \leq 1 \qquad (۳۰)$$

$$\sum_{n=1\ Hz}^{110\ MHz} \frac{I_n}{I_{L,n}} \leq 1 \qquad (۳۱)$$

که در آن‌ها:

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.

۴-۵ حد میدان مغناطیسی مستقیم (DC) برای مردم و شاغلین

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

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

نوع پرتوگیری	مشخصات پرتوگیری	چگالی شار مغناطیسی
مردم[a,b]	در محل قرارگرفتن فرد (هر قسمت از بدن)	در هیچ نقطه‌ای نباید از ۴۰۰ میلی تسلا بیشتر شود.
شغلی[b]	در محل قرارگرفتن سر و تنه	در هیچ نقطه‌ای نباید از ۲ تسلا بیشتر شود.
	در محل قرارگرفتن دست و پا	در هیچ نقطه‌ای نباید از ۸ تسلا بیشتر شود.
یادآوری: مقادیر این جدول از منبع ۴ در بند پیش‌گفتار اخذ شده‌است.		
[a] اشخاصی که در بدنشان وسایل پزشکی الکترونیکی و یا ایمپلنت‌های حاوی مواد فرومغناطیسی قرار داده شده‌است، نباید در میدان مغناطیسی قوی‌تر از ۰٫۵میلی تسلا قرار گیرند. [b] در محیط‌هایی که خطر پرت شدن اشیا در اثر میدان مغناطیسی ثابت وجود دارد، چگالی شار مغناطیسی نباید از ۰٫۵ میلی تسلا بیشتر شود.		

۴-۶ 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 ویا پرتوگیری مردم، دُز تابشی مؤثر در هر بازه زمانی ۸ ساعته، نباید از $۳۰\ J/m^۲$ بیش‌تر شود. در

صورتی‌که شدت تابش مؤثر مقدار ثابتی باشد، حداکثر مدت زمان مجاز پرتوگیری با پرتوهای فرابنفش در هر دوره‌ی ۸ ساعته از معادله زیر به‌دست می‌آید.

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

که در آن:

E_{eff} شدت تابش مؤثر (در محل قرارگرفتن شخصی که پرتوگیری می‌کند) بر حسب وات بر مترمربع ($W/m^۲$)؛

t مدت زمان پرتوگیری بر حسب ثانیه (s)؛ و

$۳۰ \ J/m^۲$ حد دز تابشی مؤثر در هر دوره ۸ ساعته است.

در جدول ۹، حدود دز تابشی در هر دوره ۸ ساعته و ضرائب تأثیر نسبی پرتوهای فرابنفش در طول‌موج‌های مختلف بر بدن انسان آمده‌است.

همچنین لازم‌است که در طول‌موج‌های ۳۱۵ نانومتر تا ۴۰۰ نانومتر علاوه بر رعایت حد دز تابشی مؤثر، دز تابشی (منظور انرژی جذب شده نیست) پرتو فرابنفش در محل چشم در هر دوره ۸ ساعته، از $۱۰^۴$ ژول برمترمربع کم‌تر باشد.

جدول ۹- حدود دز تابشی در هر دوره ۸ ساعته و ضرائب تأثیر نسبی پرتوهای فرابنفش در طول‌موج‌های مختلف بر بدن انسان

ردیف	طول‌موج nm	ضریب نسبی تاثیر (S_λ)	حد دز تابشی در ۸ ساعت $J/m^۲$
۱	۱۸۰	۰/۰۱۲	۲۵۰۰
۲	۱۹۰	۰/۰۱۹	۱۶۰۰
۳	۲۰۰	۰/۰۳۰	۱۰۰۰
۴	۲۰۵	۰/۰۵۱	۵۹۰
۵	۲۱۰	۰/۰۷۵	۴۰۰
۶	۲۱۵	۰/۰۹۵	۳۲۰
۷	۲۲۰	۰/۱۲۰	۲۵۰
۸	۲۲۵	۰/۱۵۰	۲۰۰
۹	۲۳۰	۰/۱۹۰	۱۶۰
۱۰	۲۳۵	۰/۲۴۰	۱۳۰
۱۱	۲۴۰	۰/۳۰۰	۱۰۰
۱۲	۲۴۵	۰/۳۶۰	۸۳
۱۳	۲۵۰	۰/۴۳۰	۷۰
۱۴	۲۵۴	۰/۵۰۰	۶۰
۱۵	۲۵۵	۰/۵۲۰	۵۸
۱۶	۲۶۰	۰/۶۵۰	۴۶

ادامه جدول ۹- حدود دز تابشی در هر دوره ۸ ساعته و ضرائب تأثیر نسبی پرتوهای فرابنفش در طول‌موج‌های مختلف بر بدن انسان

ردیف	طول‌موج nm	ضریب نسبی تاثیر (S_λ)	حد دز تابشی در ۸ ساعت J/m^2
۱۷	۲۶۵	۰/۸۱۰	۳۷
۱۸	۲۷۰	۱/۰۰۰	۳۰
۱۹	۲۷۵	۰/۹۶۰	۳۱
۲۰	۲۸۰	۰/۸۸۰	۳۴
۲۱	۲۸۵	۰/۷۷۰	۳۹
۲۲	۲۹۰	۰/۶۴۰	۴۷
۲۳	۲۹۵	۰/۵۴۰	۵۶
۲۴	۲۹۷	۰/۴۶۰	۶۵
۲۵	۳۰۰	۰/۳۰۰	۱۰۰
۲۶	۳۰۳	۰/۱۲۰	۲۵۰
۲۷	۳۰۵	۰/۰۶۰	۵۰۰
۲۸	۳۰۸	۰/۰۲۶	۱۲۰۰
۲۹	۳۱۰	۰/۰۱۵	۲۰۰۰
۳۰	۳۱۳	۰/۰۰۶	۵۰۰۰
۳۱	۳۱۵	۰/۰۰۳	۱۰۰۰۰
۳۲	۳۱۶	۰/۰۰۲۴	۱۳۰۰۰
۳۳	۳۱۷	۰/۰۰۲۰	۱۵۰۰۰
۳۴	۳۱۸	۰/۰۰۱۶	۱۹۰۰۰
۳۵	۳۱۹	۰/۰۰۱۲	۲۵۰۰۰
۳۶	۳۲۰	۰/۰۰۱۰	۲۹۰۰۰
۳۷	۳۲۲	۰/۰۰۰۶۷	۴۵۰۰۰
۳۸	۳۲۳	۰/۰۰۰۵۴	۵۶۰۰۰
۳۹	۳۲۵	۰/۰۰۰۵۰	۶۰۰۰۰
۴۰	۳۲۸	۰/۰۰۰۴۴	۶۸۰۰۰
۴۱	۳۳۰	۰/۰۰۰۴۱	۷۳۰۰۰
۴۲	۳۳۳	۰/۰۰۰۳۷	۸۱۰۰۰
۴۳	۳۳۵	۰/۰۰۰۳۴	۸۸۰۰۰
۴۴	۳۴۰	۰/۰۰۰۲۸	۱۱۰۰۰۰
۴۵	۳۴۵	۰/۰۰۰۲۴	۱۳۰۰۰۰
۴۶	۳۵۰	۰/۰۰۰۲۰	۱۵۰۰۰۰
۴۷	۳۵۵	۰/۰۰۰۱۶	۱۹۰۰۰۰

ادامه جدول ۹- حدود دز تابشی در هر دوره ۸ ساعته و ضرائب تأثیر نسبی پرتوهای فرابنفش در طول‌موج‌های مختلف بر بدن انسان

ردیف	طول‌موج nm	ضریب نسبی تاثیر (S_λ)	حد دز تابشی در ۸ ساعت J/m^2
۴۸	۳۶۰	۰/۰۰۰۱۳	۲۳۰۰۰۰
۴۹	۳۶۵	۰/۰۰۰۱۱	۲۷۰۰۰۰
۵۰	۳۷۰	۰/۰۰۰۰۹۳	۳۲۰۰۰۰
۵۱	۳۷۵	۰/۰۰۰۰۷۷	۳۹۰۰۰۰
۵۲	۳۸۰	۰/۰۰۰۰۶۴	۴۷۰۰۰۰
۵۳	۳۸۵	۰/۰۰۰۰۵۳	۵۷۰۰۰۰
۵۴	۳۹۰	۰/۰۰۰۰۴۴	۶۸۰۰۰۰
۵۵	۳۹۵	۰/۰۰۰۰۳۶	۸۳۰۰۰۰
۵۶	۴۰۰	۰/۰۰۰۰۳۰	۱۰۰۰۰۰۰

یادآوری: مقادیر این جدول از منبع ۵ در بند پیش‌گفتار اخذ شده‌است.

[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 دریافتی، برای شاغلین درنظر گرفته‌شده‌است ولی با احتیاط برای مردم نیز قابل استفاده‌است. اما امکان‌دارد که افرادی که نسبت به پرتو فرابنفش بسیار حساس هستند، دراین شرایط آسیب ببینند. حد فوق برای افراد معمولی در نظر گرفته شده است و نه افراد حساس.

[c] اندازه شدت پرتو برای به‌دست‌آوردن پرتو دریافتی، باید با دستگاه اندازه‌گیری با پاسخ زاویه‌ای کسینوسی صورت‌گیرد.

[d] S_λ در طول‌موج‌هایی که در جدول ذکر نشده است توسط معادله‌های زیر محاسبه می‌شود.

$$210 \le \lambda \le 270 \quad nm \; ; \; S_\lambda = 0.959^{(270 - \lambda)} \qquad (۳۳)$$

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

$$300 < \lambda \le 400 \text{ nm}; \quad S_\lambda = 0.3 \times 0.736^{(\lambda - 300)} + 10^{(2 - 0.0163\ \lambda)} \qquad (۳۵)$$

۴-۷ حدود پرتوگیری با پرتوهای مرئی و فروسرخ (منابع غیرلیزری)

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

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

برای بررسی اثرات گرمایی نور بر شبکیه چشم، از معادله‌های زیر استفاده می‌شود.

- **تابندگی مؤثر شبکیه[1] (L_R)**

تابندگی مؤثر شبکیه با معادله زیر محاسبه می‌شود:

[1]- Effective radiance

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

که در آن:

λ طول موج‌هایی است که در آن طول موج‌ها L_λ اندازه‌گیری می‌شود. λ بر حسب نانومتر (nm) است و در محدوده ۳۸۰ نانومتر تا ۱۴۰۰ نانومتر قرار دارد؛

L_λ تابندگی در طول‌موج λ بر حسب وات بر مترمربع بر استرادیان بر نانومتر ($W/m^2.Sr.nm$)؛

R_λ ضریب خطرناکی طول‌موج برای شبکیه به لحاظ گرمایی است و با درنظرگرفتن حساسیت شبکیه به گرما در طول‌موج‌های مختلف تعیین می‌شود. این کمیت بدون یکا است و مقادیر آن درجدول ۱۳ داده شده است؛ و

$\Delta\lambda$ فاصله دو طول‌موج متوالی است که L_λ در آن دو طول موج اندازه‌گیری می‌شود و یکای آن، نانومتر (nm) است. در نواحی که تغییرات R_λ سریع است، باید $\Delta\lambda$ کوچک‌تر انتخاب شود.

یادآوری- یکای تابندگی مؤثر در دستگاه بین‌المللی یکاها، وات بر مترمربع بر استرادیان ($W/m^2.Sr$) است.

- **دُز تابندگی مؤثر شبکیه[1] (D_R)**

دز تابندگی مؤثر، انتگرال تابندگی مؤثر در مدت زمان پرتوگیری است و از معادله زیر به‌دست می‌آید:

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

که در آن:

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

$L_R(t)$ تابندگی مؤثر در لحظه t برحسب وات بر مترمربع 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 به‌دست می‌آید:

$$D_R = L_R \, t_1 \qquad (۳۸)$$

که در آن، L_R تابندگی مؤثر برحسب وات بر مترمربع بر استرادیان ($W/m^2\ Sr$) است.

به‌منظور جلوگیری از آسیب‌های 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.

1 - effective radiance dose

جدول ۱۰- حد تابندگی مؤثر و دز تابندگی مؤثر بر اساس تاثیر 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) $J/m^2.Sr$	زیرنویس‌های مرتبط
کوچک $\alpha < \alpha_{min}$	$t < ۱ \times ۱۰^{-۶}$	–	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 $\alpha_{min} \leq \alpha < \alpha_{max}$	$t < ۱ \times ۱۰^{-۶}$	–	$۰/۶۳ \times \alpha^{-۱}$	a, b, c
	$۱ \times ۱۰^{-۶} \leq t < ۰/۲۵$	$۲/۰ \times ۱۰^{۴} \times \alpha^{-۱} \times t^{-۰/۲۵}$	$۲/۰ \times ۱۰^{۴} \times \alpha^{-۱} \times t^{۰/۷۵}$	a, b, c, d, e
	$t \geq ۰/۲۵$	$۲/۸ \times ۱۰^{۴} \times \alpha^{-۱}$	$۰/۷۱ \times ۱۰^{۴} \times \alpha^{-۱}$	a, b, d
بزرگ $\alpha \geq \alpha_{max}$	$t < ۱ \times ۱۰^{-۶}$	–	۱۳۰	c, e
	$۱ \times ۱۰^{-۶} \leq t < ۶۲۵ \times ۱۰^{-۶}$	–	$۴/۰ \times ۱۰^{۶} \times t^{۰/۷۵}$	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 پیش‌گفتار اخذ شده‌است.

[a] برای محاسبه حدود پرتوگیری، L_R^{EL} ، D_R^{EL} باید t برحسب ثانیه و α برحسب رادیان باشد.

[b] $\alpha_{min} = ۰/۰۰۱۵$ رادیان است. اگر $\alpha \leq \alpha_{min}$ باشد، برای محاسبه حد پرتوگیری به جای α مقدار α_{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 $۱۰^{-۶}$ s $\leq t <$ ۶۲۵ $\times ۱۰^{-۶}$ s، ۱ $\times ۱۰^{-۶}$ s $\leq t <$ ۶۲۵ $\times ۱۰^{-۶}$ s باشد، آنگاه $\alpha_{max} = ۰/۰۰۵$ rad. اگر $۰/۲۵$ s $\leq t <$ ۶۲۵ $\times ۱۰^{-۶}$ s باشد، آنگاه $\alpha_{max} = ۰/۲ \times t^{۰/۵}$ است. اگر $t \geq ۰/۲۵$ باشد، آنگاه $\alpha_{max} = ۰/۱$ rad است.

[f] اگر $\alpha_{max} <$ ۰/۱ rad باشد، آنگاه $\alpha = \alpha_{max}$ است.

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

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

اگر $۰/۲۵ \text{ s} < t < ۱۰۰ \text{ s}$ باشد:

$$L_{WVS}^{EL} = 2\,\alpha^{-1}\,t^{-0.25} \times 10^{4} \qquad (۳۹)$$

و اگر $t \geq ۱۰۰$ s باشد:

$$L_{WVS}^{EL} = 0.63\,\alpha^{-1} \qquad (۴۰)$$

در این معادله‌ها:

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 استرادیان ($W/m^2.Sr$)؛

α زاویه دید منبع برحسب رادیان (rad)؛ و

t مدت زمان پرتوگیری برحسب ثانیه (s) است.

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

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

به‌منظور جلوگیری از آسیب‌های شبکیه ناشی از اثرات فتوشیمیایی نور آبی، حدود ارائه شده در جدول ۱۲ باید براساس شرایط رؤیت منبع و مدت‌زمان 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 معادله‌های زیر استفاده می‌شود.

- **شدت تابش مؤثر (E_B)**

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

که در آن:

E_λ شدت تابش پرتو در طول‌موج λ برحسب وات بر مترمربع بر نانومتر (W/m^2 .nm)؛

B_λ ضریب نسبی تاثیر فتوشیمیایی پرتو در طول موج‌های مختلف، بر چشم؛ این ضریب واحد ندارد؛ و

$\Delta\lambda$ فاصلهٔ دو طول‌موج متوالی که B_λ در آن دو طول‌موج اندازه‌گیری می‌شود. یکای Δ_λ، نانومتر (nm) است.

یادآوری- یکای شدت تابش مؤثر در دستگاه بین‌المللی 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 می‌شود:

$$H_B = E_B\, t_1 \qquad (۴۳)$$

در دو معادله فوق:

E_B شدت تابش مؤثر برحسب وات بر مترمربع (W/m^2) و

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

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

- **تابندگی مؤثر (L_B)**

$$L_B = \sum_{\lambda=300}^{700} L_\lambda B_\lambda \Delta\lambda \qquad (۴۴)$$

که در آن:

L_λ تابندگی در طول‌موج λ برحسب وات بر مترمربع بر استرادیان بر نانومتر ($W/m^2.Sr.nm$) است؛

B_λ ضریب تأثیر فتو شیمیایی نور با طول‌موج λ بر چشم؛ این ضریب بدون یکا است؛ و

$\Delta\lambda$ اختلاف دو طول‌موج متوالی است که L_λ، در آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود و یکای آن نانومتر (nm) است.

یادآوری- یکای تابندگی مؤثر در دستگاه بین‌المللی 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 L_B ثابت باشد، معادله فوق به شکل ساده زیر خواهد شد:

$$D_B = L_B\, t_1 \qquad (۴۶)$$

در دو معادله فوق:

L_B تابندگی مؤثر برحسب وات بر مترمربع بر استرادیان ($W/m^2.Sr$)؛ و

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

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

تابندگی باید روی زاویه فضایی γ_{Ph} میانگین‌گیری شود. مقدار قابل قبول γ_{Ph} تابعی از زمان است که در جدول ۱۱ داده شده‌است.

در جدول ۱۳ ضرایب تاثیر فتوشیمیایی A_λ و B_λ در طول‌موج‌های مختلف بر چشم انسان و نیز ضرایب خطرناکی طول‌موج برای شبکیه R_λ آورده‌شده‌است.

یادآوری- در پرتوگیری کودکان زیر ۲ سال و یا افراد دارای عدسی مصنوعی[1]، به‌دلیل حساسیت بالا باید در معادله‌های ۴۱ و ۴۴، مقادیر B_λ با مقادیر A_λ جایگزین شود.

1 Aphakic eyes

جدول ۱۱- مقادیر زاویه فضایی میانگین‌گیری، γ_{Ph}، بر اساس زمان پرتوگیری

مدت زمان پرتوگیری، t s	γ_{Ph} 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 پیش‌گفتار اخذ شده‌است. **یادآوری ۲:** برای محاسبه γ_{Ph} بر حسب رادیان، مقدار t باید بر حسب ثانیه جایگزین شود.	

جدول ۱۲- حدود پرتوگیری براساس تاثیر فتو شیمیایی 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 یا بیشتراز آن γ_{ph} [b]	$۰/۲۵\ s < t < ۱۰^{۴}\ s$	–	–	–	$۱۰^{۶}$
	$t \geq ۱۰^{۴}\ s$	–	–	۱۰۰	–
α کمتر از γ_{ph}	$۰/۲۵\ s \leq t < ۱۰۰\ s$	–	۱۰۰	–	–
	$۱۰۰\ s \leq t < ۳۰۰۰۰\ s$	۱	–	–	–
یادآوری: مقادیر این جدول از منبع ۶ در بند پیش‌گفتار اخذ شده‌است.					
[a] α زاویه دید است. [b] مقادیر γ_{ph} در جدول ۱۱ داده شده‌است.					

جدول ۱۳- ضرایب A_λ ،B_λ و R_λ

ردیف	طول‌موج nm	ضریب تأثیر نسبی فوتوشیمیایی		ضریب تأثیر نسبی آسیب گرمایی شبکیه R_λ
		برای افراد دارای عدسی مصنوعی A_λ	برای افراد با چشم سالم B_λ	
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

ادامه جدول ۱۳- ضرایب ضرایب A_λ ،B_λ و R_λ

ردیف	طول‌موج nm	A_λ	B_λ	R_λ
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
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
۴۸	۵۳۵	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	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	–	–	$0/2\times10^{0/02[(1150-\lambda)]}$
۶۵	۱۲۰۰-۱۴۰۰	–	–	۰/۰۲

یادآوری: مقادیر این جدول از منبع ۶ در بند پیش‌گفتار اخذ شده‌است.

۴-۷-۴ حد پرتوگیری براساس اثرات گرمایی پرتو فروسرخ بر عدسی و قرنیه چشم (محدوده طول موج‌های ۷۸۰ نانومتر تا ۳۰۰۰ نانومتر)

به منظور پیشگیری از آسیب‌های قرنیه و آسیب‌های 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 می‌شود.

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

برای سادگی می‌توان به‌جای معادله بالا از معادله زیر استفاده کرد. در این صورت احتیاط بیش‌تری صورت می‌گیرد.

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

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 ۱۴- حد پرتوگیری بر اساس اثرات گرمایی پرتو فرو سرخ بر عدسی و قرنیه چشم

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 پیش‌گفتار اخذ شده‌است.	

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

۴-۷-۵ 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 ۴۰۰ nm تا ۳۰۰۰ nm کمتر از $۲/۰ \times t^{۰/۲۵} \times ۱۰^{۴}$ ژول بر متر مربع باشد.
برای زمان تابش بیش‌تر از ۱۰ s حد خاصی تعیین نمی‌شود، زیرا عکس‌العمل طبیعی بدن به گرمای حاصل مانع از آسیب دیدن پوست می‌شود.

۴-۷-۶ پرتوگیری مکرر با پرتوهای نوری

برای پرتوگیری از پالس‌های نوری تکرارشونده، مواجهه متناوب با پرتوهای نوری یا پرتوگیری با مقادیر متغیر پرتوهای نوری، موارد زیر باید رعایت شود.

- به‌عنوان 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 پالس‌های نوریِ نامنظم صورت گیرد و یا آن‌که مقادیر پرتوگیری تغییر کند، پرتوگیری در هربازه زمانی مربوط به پالس‌ها و یا تغییرات و همچنین در کل زمان پرتوگیری T، باید در نظر گرفته شود؛ زیرا پرتوگیری در بخشی از مجموعه پالس‌ها می‌تواند بحرانی باشد و از پرتوگیری مربوط به یک پالس و یا متوسط پرتوگیری در T بیش‌تر شود.
- در صورتی‌که T از T_{max} که برای زمان‌های بیش‌تر از آن حد شدت تابش و یا تابندگی مقدار ثابتی می‌شود (مثلاً ۱۰۰۰۰ s برای اثرات فتوشیمیایی شبکیه، ۱۰۰۰ s برای اثرات بر قسمت‌های قدامی چشم و ۰٫۲۵ s برای اثرات گرمایی شبکیه) بیش‌تر شود، در نظر گرفتن مجموع دز تابشی یا دز تابندگی (یا میانگین‌گیری شدت تابش یا تابندگی) در زمان‌های بیش‌تر از T_{max} ضرورت ندارد. به عبارت دیگر برای مدت‌های پرتوگیری بیش‌تر از T_{max} (مثلاً ۱۰۰۰ s برای اثرات بر قسمت‌های قدامی چشم) لازم نیست که مجموع پرتوگیری‌ها در کلِ زمان پرتوگیری در نظر گرفته شود، بلکه کافی است در هر بازه زمانی T_{max} (مثلاً ۱۰۰۰ s برای اثرات بر قسمت‌های قدامی چشم) وضعیت پرتوگیری مستقلاً بررسی شود.
- در پرتوگیری‌های نامنظم در تمامی موارد، بازه زمانی برای بررسی وضعیت پرتوگیری برابر با T ویا T_{max} هر کدام که کم‌تر است، درنظر گرفته می‌شود. در هر یک از این بازه‌های زمانی، بحرانی‌ترین 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 ۱۰ s است، نمی‌توان راهنمایی برای زمان سرد شدن بین دو پرتوگیری ارائه داد، زیرا آستانه آسیب هم به دمای محیط و هم به ناحیه‌ی تحت تابش بستگی دارد. چنانچه بعد از یک پرتوگیری ۱۰ ثانیه‌ای زمان کافی بگذرد تا پوست خنک شود، اثرات بیولوژیکی ناشی از پرتوگیری‌های مکرر به هم افزوده نمی‌شوند و اساساً مستقل هستند. همچنین تا زمانی‌که درد احساس نشود (با این فرض که عکس‌العمل فردی که پرتوگیری می‌کند 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 ۵ Hz، ومنبع از نوع منابع گسترده باشد که دراین صورت زاویه دید منبع از ۵ mrad بیش‌تر است، الزام دیگری نیز باید برآورده شود. در این

شرایط، حد گرمایی شبکیه برای هر یک از پالس‌های قطاری شامل n پالس در مدت زمان پرتوگیری، باید به شرح زیر کاهش یابد.

- چنانچه زاویه دید منبع برابر با α_{max} یا از آن کم‌تر است، حد پرتوگیری برای هر پالس با ضریب $n^{-0/25}$ (برای $n < 40$) و ۰٫۴ (برای $n \geq 40$) کاهش می‌یابد.
- چنانچه زاویه دید منبع از α_{max} بیش‌تر و از ۱۰۰ mrad کم‌تر است، حد پرتوگیری برای هر پالس با ضریب $n^{-0/25}$ (برای $n < 625$) و ۰٫۲ (برای $n \geq 625$) کاهش می‌یابد.
- چنانچه زاویه دید منبع برابر با ۱۰۰ mrad یا از آن بیش‌تر است، تغییری در حدود پرتوگیری برای هر پالس اعمال نمی‌شود.

۸-۴ حد پرتوگیری برای پرتوهای فراصوت

جدول ۱۵ حدود تراز فشار امواج فرا صوت برای پرتوگیری شغلی در حداکثر هشت ساعت کار در شبانه‌روز را نشان می‌دهد.

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

ردیف	تراز فشار (دسی بل) dB	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 پیش‌گفتار اخذ شده‌است.		
[a] چنانچه زمان پرتوگیری دو الی چهار ساعت باشد، به مقادیر تراز فشار dB ۳ اضافه می‌شود.		
[b] چنانچه زمان پرتوگیری یک الی دو ساعت باشد، به مقادیر تراز فشار dB ۶ اضافه می‌شود.		
[c] چنانچه زمان پرتوگیری کمتر از یک ساعت باشد، به مقادیر تراز فشار dB ۹ اضافه می‌شود.		

جدول ۱۶ حدود تراز فشار امواج فراصوت برای پرتوگیری مردم را نشان می‌دهد.

جدول ۱۶- حدود تراز فشار امواج فراصوت برای پرتوگیری مردم

ردیف	تراز فشار (دسی بل) dB	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 پیش‌گفتار اخذ شده‌است.		

تراز فشار امواج فراصوت در محل قرارگرفتن گوش هر فرد، باید با حدود داده‌شده در این استاندارد مقایسه شود. لذا باید اندازه‌گیری‌ها در ارتفاع میانگین محل قرارگیری گوش افراد، صورت‌گیرد.