

حد تماس شغلی عوامل فیزیکی محیط کار - لیزر

مقادیر حد تماس شغلی در برابر پرتو لیزر به شرایطی اشاره دارد که بنظر می‌رسد چنانچه تقریباً کلیه شاغلین بطور مکرر در مواجهه با آن قرار گیرند، آثار نامطلوبی بر سلامت آنان ظاهر نشود. مقادیر مزبور به‌عنوان راهنما برای کنترل مواجهه افراد با پرتوهای مذکور بکار می‌روند و نباید به‌عنوان مرز معین بین حد ایمن و خطر تلقی شوند. حدود تماس شغلی براساس کامل‌ترین اطلاعات بدست آمده از مطالعات تجربی تعیین شده است. در عمل خطرات چشمی و پوستی ناشی از لیزر را می‌توان با بکارگیری تمهیدات کنترلی، متناسب با نوع لیزر مهار نمود.

گروه بندی لیزرها:

شرکت سازنده غالباً به منبع مولد لیزر برچسبی الصاق می‌کند که طبقه خطر آن‌ها را مشخص می‌کند. معمولاً لازم نیست تابندگی لیزر یا مواجهه تابشی آن برای مقایسه با حدود تماس شغلی برآورد شود. پتانسیل تماس‌های خطرناک را می‌توان با بکارگیری تمهیدات کنترلی متناسب با طبقه خطر لیزر به حداقل رساند. تمهیدات کنترلی بر تمام طبقات لیزرها بجز طبقه «یک» قابل اعمال است. این تمهیدات و سایر اطلاعات ایمنی لیزر را می‌توان در نشریه ACGIH تحت عنوان 'A Guide for Control of Laser Hazards' و نشریات سری ANSI Z136 که توسط انستیتوی لیزر آمریکا منتشر شده است، یافت.

روزنه محدود^۱:

در این بخش برای مقایسه با حدود تماس شغلی، میانگین تابندگی دسته پرتوهای لیزر یا زمان پرتودهی تمام روزنه محدود در ناحیه طیفی و زمان مواجهه مناسب برآورد می‌شود. اگر قطر دسته پرتوهای لیزر کمتر از قطر روزنه محدود کننده باشد، تابندگی مؤثر دسته پرتوهای لیزر یا پرتودهی آن را می‌توان از طریق تقسیم کردن دسته پرتوهای لیزر یا انرژی آن بر سطح روزنه محدود کننده بدست آورد. فهرست روزنه‌های محدود کننده در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱- حدود شکاف‌ها برای تعیین حد تماس شغلی لیزر

گستره طیفی (نانومتر)	مدت مواجهه (ثانیه)	چشم (میلی‌متر)	پوست (میلی‌متر)
۱۸۰ - ۴۰۰	$0.25 - 1 \times 10^{-9}$	۱	۳/۵
۱۸۰ - ۴۰۰	$3 \times 10^{-3} - 0.25$	۳/۵	۳/۵
۴۰۰ - ۱۴۰۰	$0.25 - 1 \times 10^{-9}$	۷	۳/۵
۴۰۰ - ۱۴۰۰	$3 \times 10^{-3} - 0.25$	۷	۳/۵
۱۴۰۰ - 1×10^5	$0.25 - 1 \times 10^{-9}$	۱	۳/۵
۱۴۰۰ - 1×10^5	$3 \times 10^{-3} - 0.25$	۳/۵	۳/۵
۱۴۰۰ - 1×10^5	$3 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-9}$	۱۱	۱۱

تغییرات احتمالی جدول ۱

گستره طیفی (نانومتر)	مدت مواجهه (ثانیه)	چشم (میلی‌متر)	پوست (میلی‌متر)
۴۰۰ - ۱۴۰۰	$0.25 - 1 \times 10^{-13}$	۷	۳/۵
۱۴۰۰ - 1×10^5	$0.25 - 1 \times 10^{-14}$	۱	۳/۵
۱۴۰۰ - 1×10^5	$3 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-14}$	۱۱	۱۱

¹ Limiting Apertures

حد تماس شغلی عوامل فیزیکی محیط کار - لیزر



وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی

معاونت سلامت

مرکز سلامت محیط و کار

اندازه منبع و ضریب تصحیح C_E :

موارد ذیل فقط در طول موج‌های ناحیه خطر شبکیه یعنی ۴۰۰ تا ۱۴۰۰ نانومتر اعمال می‌شود. معمولاً لیزر منبع کوچکی در حد یک منبع نقطه‌ای است. البته هر منبعی که زاویه روبروی آن α بزرگتر از α_{\min} که از چشم ناظر اندازه‌گیری می‌شود، باشد به عنوان یک منبع متوسط ($100 \text{ mrad} < \alpha < \alpha_{\min}$) و یا منبع بزرگ ($\alpha > 100 \text{ mrad}$) منظور می‌شود. برای زمان پرتوگیری t زاویه α_{\min} بصورت زیر تعریف می‌شود:

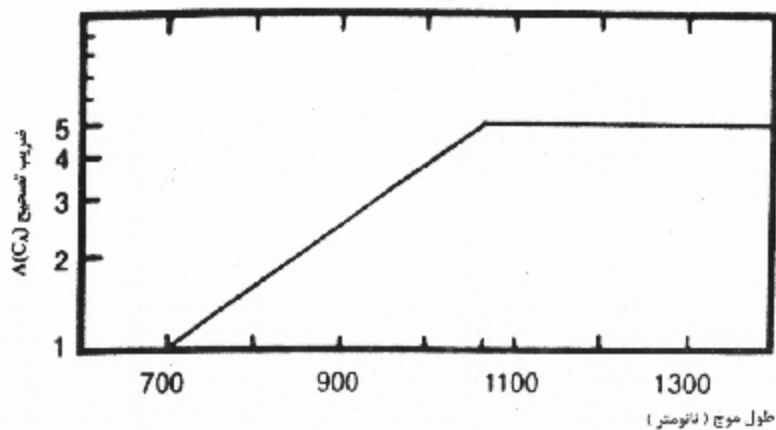
زمان پرتوگیری	زاویه α_{\min}
۰/۷ ثانیه	۱/۵ mrad
۰/۷-۱۰ ثانیه	$2 \times t^{-1/75}$ mrad
بیش از ۱۰ ثانیه	۰/۱ mrad

چنانچه منبع مستطیل شکل است، α میانگین حسابی بلندترین طول و کوتاه‌ترین بعد قابل مشاهده می‌باشد. برای منابع متوسط و بزرگ، حد تماس شغلی در جدول ۲ با ضریب تصحیح C_E که در قسمت نکات جدول ۲ آمده است، تعدیل می‌شود.

ضرایب تصحیح A, B, C, C_A, C_B, C_C :

مقادیر حد تماس شغلی برای پرتوگیری چشم که در جدول شماره ۲ ارائه شده است، برای تمام طول موج‌ها کاربرد دارد. حد تماس شغلی با طول موج‌های بین ۷۰۰ nm و ۱۴۰۰ nm با ضریب C_A بدلیل کاهش جذب توسط ملانین افزایش می‌یابد. (نمودار شماره ۱) در برخی موارد که فرد در معرض طول موج‌های بین ۵۵۰ تا ۷۰۰ نانومتر قرار می‌گیرد ضریب تصحیح C_B باید بکار برده شود (بدلیل کاهش حساسیت فتوشیمیایی در صدمات وارده به شبکیه چشم) ضریب تصحیح C_C در طول موج‌های ۱۱۵۰ تا ۱۴۰۰ نانومتر بکار می‌رود که به دلیل جذب در عبور از محیط چشم قبل از رسیدن به شبکیه است.

مقادیر حد تماس شغلی مندرج در جدول ۳ در ارتباط با پرتوگیری پوست از پرتوهای لیزر می‌باشد. مقادیر مزبور را می‌توان به نسبت ضریب C_A که در نمودار ۱ نشان داده شده است، برای طول موج‌های بین ۷۰۰ تا ۱۴۰۰ نانومتر افزایش داد. برای سهولت در امر محاسبه زمان مواجهه مجاز که نیاز به محاسبه با توان‌های جزئی دارد، نمودار ۲ و ۳ را می‌توان به کار برد.

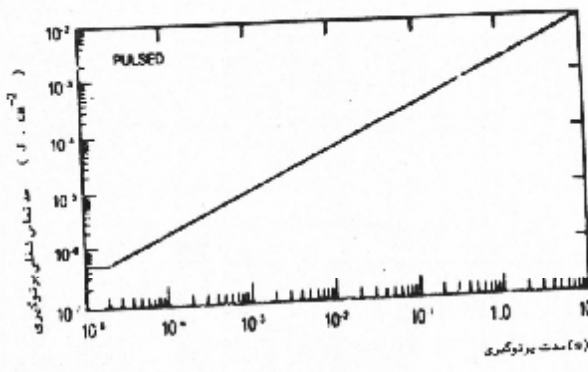


نمودار ۱: ضریب تصحیح حد تماس شغلی بازا $\lambda = 700 - 1400 \text{ nm}$ (در $\lambda = 700 - 1049 \text{ nm}$)
 $(C_A = 5, \lambda = 1050 - 1400 \text{ nm}$ برای $C_A = 10^{(107000 - 70000)/\lambda}$)

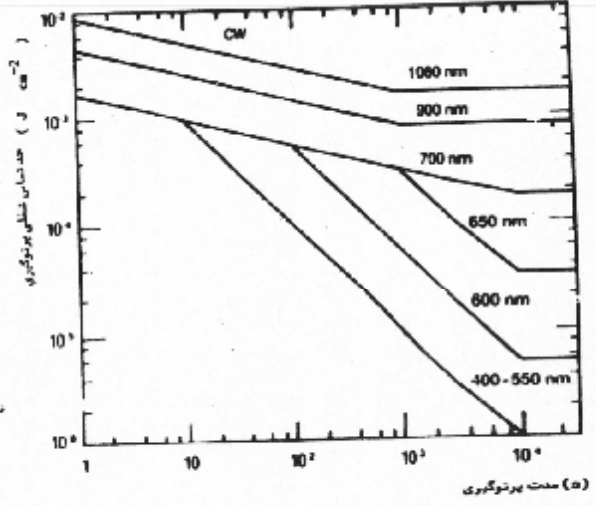
حد تماس شغلی عوامل فیزیکی محیط کار - لیزر



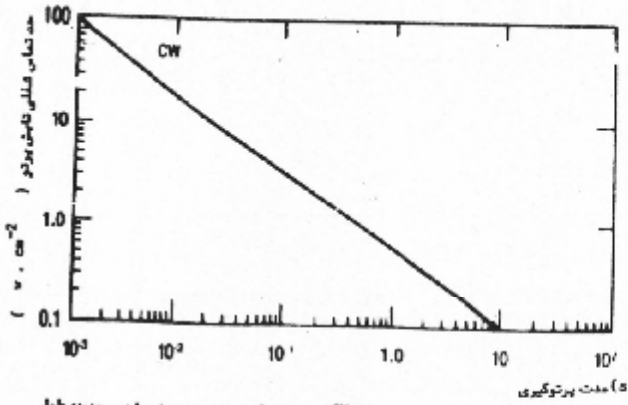
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
 معاونت سلامت
 مرکز سلامت محیط و کار



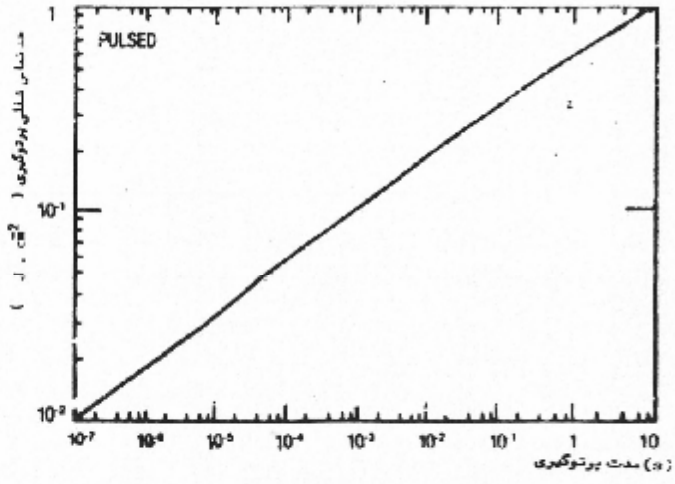
نمودار ۱: الحد تماس شغلی برای نگاه کردن بطور مستقیم داخل پرتو لیزر در طول موج ۳۰۰ - ۴۰۰ nm



نمودار ۲: الحد تماس شغلی برای نگاه کردن بطور مستقیم داخل پرتو لیزری بمرتبه (CW) با طول موجهای ۱۰۶۰ - ۴۰۰ nm



نمودار ۳: الحد تماس شغلی لیزر موج پیوسته (CW) در پرتوگری پوست و چشمها در محدوده طول موجهای پرتو مادون قرمز دور (طول موجهای بیش از ۱/۲ um)



نمودار ۴: الحد تماس شغلی لیزر در پرتوگری پوست و چشم ها در محدوده پرتو مادون قرمز دور (طول موج بزرگتر از ۱/۲ um)



پرتوگیری پالسی مکرر^۲ (RPE):

لیزرهای اسکن با موج پیوسته (CW) و یا لیزرهای پالسی مکرر می‌تواند سبب پرتوگیری پالسی مکرر شوند. حد تماس شغلی برای نگاه کردن مستقیم به پرتو در طول موج‌های بین ۴۰۰ تا ۱۴۰۰ نانومتر و همچنین در پرتوگیری تک پالسی (پالسی با مدت زمان t) ارائه شده است و با استفاده از ضریب تصحیح که براساس تعداد پالس در هر پرتوگیری مشخص می‌شود، تعدیل می‌شود. ابتدا تعداد پالس‌ها (n) در یک پرتوگیری برحسب HZ محاسبه می‌شود. سپس این مقدار که فرکانس تکرار پالس نامیده می‌شود، در مدت زمان پرتوگیری ضرب می‌شود. معمولاً پرتوگیری در محدوده‌ای از ۰/۲۵ ثانیه برای منبع مرئی درخشان تا ۱۰ ثانیه برای منبع مادون قرمز اتفاق می‌افتد. حد تماس شغلی تصحیح شده برای هر پالس از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\text{معادله ۱ - (حد تماس شغلی تک پالس)} = (n^{-0.125}) = \text{حد تماس شغلی}$$

این معادله فقط در شرایط ایجاد صدمات حرارتی یعنی کلیه پرتوگیری‌های با طول موج بیش از ۷۰۰ نانومتر و برخی از پرتوگیری‌ها با طول موج‌های کوتاه‌تر کاربرد دارد.

برای طول موج‌های مساوی یا کمتر از ۷۰۰ نانومتر حد تماس شغلی تصحیح شده از معادله ۱ در صورتی استفاده می‌شود که متوسط تابندگی کمتر از حد تماس شغلی برای پرتوگیری مداوم باشد. در صورتی که مدت پرتوگیری بین ۱۰ ثانیه تا $T1^4$ ثانیه باشد، متوسط تابندگی (یعنی پرتوگیری تجمعی کل برای nt برحسب ثانیه) نباید از دوز مندرج در جدول ۲ تجاوز نماید. توصیه می‌شود کاربران حدود تماس شغلی پرتوهای لیزر برای اطلاعات بیشتر به منبع زیر مراجعه نمایند:

A Guide for Control of Laser Hazards, 4th Edition, 1990, Published by ACGH

² Repetitively Pulsed Exposures

³ Continuous Waves

⁴ برای مقادیر T1 به نکات قابل توجه هنگام استفاده از جدول ۲ مراجعه کنید.

حد تماس شغلی عوامل فیزیکی محیط کار - لیزر

وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
 معاونت سلامت
 مرکز سلامت محیط و کار

جدول ۲- حد تماس شغلی پرتوگیری مستقیم عدسی چشم (نگاه مستقیم به پرتو) حاصل از پرتو لیزر

	حد تماس شغلی (AOE)	زمان پرتوگیری (t) بر حسب ثانیه	طول موج (نانومتر)	ناحیه طیفی
باید از $0.56 t^{-0.75} j/cm^2$ تجاوز نماید	3 mj/cm^2	10^{-9} تا 3×10^{-4}	۱۸۰-۲۸۰ ✖	UVC
	3 mj/cm^2	10^{-9} تا 3×10^{-4}	۲۸۰-۳۰۲	UVB
	4 mj/cm^2	10^{-9} تا 3×10^{-4}	۳۰۳	
	6 mj/cm^2	10^{-9} تا 3×10^{-4}	۳۰۴	
	10 mj/cm^2	10^{-9} تا 3×10^{-4}	۳۰۵	
	16 mj/cm^2	10^{-9} تا 3×10^{-4}	۳۰۶	
	25 mj/cm^2	10^{-9} تا 3×10^{-4}	۳۰۷	
	40 mj/cm^2	10^{-9} تا 3×10^{-4}	۳۰۸	
	63 mj/cm^2	10^{-9} تا 3×10^{-4}	۳۰۹	
	100 mj/cm^2	10^{-9} تا 3×10^{-4}	۳۱۰	
	160 mj/cm^2	10^{-9} تا 3×10^{-4}	۳۱۱	
	250 mj/cm^2	10^{-9} تا 3×10^{-4}	۳۱۲	
	400 mj/cm^2	10^{-9} تا 3×10^{-4}	۳۱۳	
	630 mj/cm^2	10^{-9} تا 3×10^{-4}	۳۱۴	
$0.56 t^{-0.75} j/cm^2$	10^{-9} تا 10^{-3}	۳۱۵-۴۰۰	UVA	
$1/0 \text{ j/cm}^2$	10^{-3} تا 10^{-1}	۳۱۵-۴۰۰		
$1/0 \text{ mW/cm}^2$	3×10^{-4} تا 10^{-3}	۳۱۵-۴۰۰		
$5 \times 10^{-7} \text{ j/cm}^2$	$1/8 \times 10^{-5}$ تا 10^{-9}	۴۰۰-۷۰۰	Light	
$1/8 (t/t^{-0.75}) \text{ mj/cm}^2$	10^{-5} تا $1/8$	۴۰۰-۷۰۰		
10 mj/cm^2	10^{-4} تا 10^{-1}	۴۰۰-۵۴۹		
$1/8 (t/t^{-0.75}) \text{ mj/cm}^2$	10^{-1} تا T1	۵۵۰-۷۰۰		
$10 \text{ C}_B \text{ mj/cm}^2$	10^{-4} تا T1	۵۵۰-۷۰۰		
$C_B \mu\text{W/cm}^2$	3×10^{-4} تا 10^{-4}	۴۰۰-۷۰۰		
$5 C_A \times 10^{-7} \text{ j/cm}^2$	$1/8 \times 10^{-5}$ تا 10^{-9}	۷۰۰-۱۰۴۹		IR-A
$1/8 C_A (t/t^{-0.75}) \text{ mj/cm}^2$	10^{-3} تا $1/8 \times 10^{-5}$	۷۰۰-۱۰۴۹		
$5 C_C \times 10^{-6} \text{ j/cm}^2$	5×10^{-5} تا 10^{-9}	۱۴۰۰-۱۰۵۰		
$9 C_C (t/t^{-0.75}) \text{ mj/cm}^2$	10^{-3} تا 5×10^{-5}	۱۴۰۰-۱۰۵۰		
$320 C_A C_C \mu\text{W/cm}^2$	3×10^{-4} تا 10^{-3}	۷۰۰-۱۴۰۰		
0.1 j/cm^2	10^{-3} تا 10^{-9}	۱۴۰۱-۱۵۰۰	IR-B&C	
$0.56 t^{-0.75} j/cm^2$	10^{-3} تا 10^{-1}	۱۴۰۱-۱۵۰۰		

حد تماس شغلی عوامل فیزیکی محیط کار - لیزر

وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
معاونت سلامت
مرکز سلامت محیط و کار

حد تماس شغلی (AOE)	زمان پرتوگیری (t) بر حسب ثانیه	طول موج (نانومتر)	ناحیه طیفی
$1/0 \text{ j/cm}^2$	10^{-9} تا 10^{-9}	۱۵۰۱ - ۱۸۰۰	
$0/1 \text{ j/cm}^2$	10^{-9} تا 10^{-3}	۱۸۰۱ - ۲۶۰۰	
$0/56 \text{ t}^{-0.75} \text{ j/cm}^2$	10^{-3} تا 10^{-7}	۱۸۰۱ - ۲۶۰۰	
10 j/cm^2	10^{-7} تا 10^{-6}	۲۶۰۱ - ۱۰ ^۶	
$0/56 \text{ t}^{-0.75} \text{ j/cm}^2$	10^{-6} تا 10^{-7}	۲۶۰۱ - ۱۰ ^۶	
100 mW/cm^2	3×10^4 تا 10	۱۴۰۰ - ۱۰ ^۶	

* ازن (O₃) توسط منابع انتشار پرتو فرابنفش (UV) در طول موج‌های کمتر از ۲۵۰ nm در هوا تولید می‌شود.

الحاقات جدول ۲:

حد تماس شغلی (AOE)	زمان پرتوگیری (t) بر حسب ثانیه	طول موج (نانومتر)	ناحیه طیفی
$1/5 \times 10^{-4}$	10^{-11} تا 10^{-13}	۴۰۰ - ۷۰۰	Light
$2/7 \times (t/t)^{-0.75}$	10^{-11} تا 10^{-9}	۴۰۰ - ۷۰۰	
$1/5 C_A \times 10^{-4}$	10^{-13} تا 10^{-11}	۷۰۰ - ۱۰۴۹	IR-A
$2/7 C_A \times (t/t)^{-0.75}$	10^{-11} تا 10^{-9}	۷۰۰ - ۱۰۴۹	
$1/5 C_C \times 10^{-7}$	10^{-13} تا 10^{-11}	۱۴۰۰ - ۱۰۵۰	
$2/7 C_C \times (t/t)^{-0.75}$	10^{-11} تا 10^{-9}	۱۴۰۰ - ۱۰۵۰	IR - B&C
۰/۱	10^{-14} تا 10^{-3}	۱۴۰۱ - ۱۵۰۰	
۱/۰	10^{-14} تا 10^0	۱۵۰۱ - ۱۸۰۰	
۰/۱	10^{-14} تا 10^{-3}	۱۸۰۱ - ۲۶۰۰	
10×10^{-3}	10^{-14} تا 10^{-7}	۲۶۰۱ - ۱۰ ^۶	

نکات قابل توجه برای استفاده از جدول ۲:

$$\lambda = 550 \text{ تا } 700 \text{ nm} \text{ به ازاء } C_B=10^{[0.115(\lambda-550)]} \quad \lambda = 400 \text{ تا } 549 \text{ nm} \text{ به ازاء } C_B=1 \quad C_A = \text{نمودار ۱}$$

$$1200-1400 \text{ nm} \text{ از } C_C=0/8 \quad 1150-1200 \text{ nm} \text{ از } C_C=10^{[0.181(\lambda-1150)]} \quad 700-1150 \text{ nm} \text{ از } C_C=1$$

$$\lambda = 550 \text{ تا } 700 \text{ nm} \text{ به ازاء } T1=10 \times 10^{[0.2(\lambda-550)]} \quad \lambda = 400 \text{ تا } 549 \text{ nm} \text{ به ازاء } T1=105$$

برای چشمه‌های متوسط تا بزرگ (مثلاً شبکه‌های دیود لیزر^۵) در طول موج‌های بین ۴۰۰ تا ۱۴۰۰ نانومتر حد تماس شغلی پرتوگیری برای نگاه کردن مستقیم به پرتو را می‌توان با ضریب تصحیح (C_E) طبق رابطه زیر افزایش داد مشروط بر این‌که زاویه چشم بیننده و منبع تابش پرتو (اندازه‌گیری از فاصله چشم بیننده) بزرگتر از α_{\min} باشد.

⁵ Laser diode arrays

حد تماس شغلی عوامل فیزیکی محیط کار - لیزر

وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
معاونت سلامت
مرکز سلامت محیط و کار

مقدار (C_E) مطابق با جدول زیر با α متناسب است:

ضریب تصحیح (C_E)	اندازه چشمه قابل تشخیص	زاویه چشم بیننده و منبع تابش پرتو
$C_E=1$ $C_E=\alpha/\alpha_{min}$ $C_E=\alpha^2/(\alpha_{min} \times 100 mrad)$	کوچک متوسط بزرگ	$\alpha \leq \alpha_{min}$ $\alpha_{min} < \alpha \leq 100 mrad$ $\alpha_{min} > 100 mrad$

زاویه ۱۰۰ میلی رادیان را می توان α_{max} در نظر گرفته در نقطه‌ای که حد تماس شغلی به عنوان رادینس ثابت بیان شده باشد و معادله فوق برحسب رادینس L بصورت ذیل تبدیل شود:

$$\begin{aligned} \text{به ازا } \alpha < 0.7 \text{ s} & \quad L_{AOE} = (\lambda/5 \times 10^{-3}) \times (AOE_{منبع pt}) \times (cm^2 \times Sr) \text{ برحسب } z \\ \text{به ازا } 0.7 \text{ s} < t < 10 \text{ s} & \quad L_{AOE} = (6/4 \times 10^{-3}) \times (AOE_{منبع pt}) \times (cm^2 \times Sr) \text{ برحسب } z \\ \text{به ازا } t > 10 \text{ s} & \quad L_{AOE} = (1/2 \times 10^{-3}) \times (AOE_{منبع pt}) \times (cm^2 \times Sr) \text{ یا } w \text{ (cm}^2 \times Sr) \end{aligned}$$

شکاف وسیله سنجش باید در فاصله ۱۰۰ nm یا بیش از آن از منبع پرتو قرار گیرد. برای سطوح تابندگ بزرگ، میزان حد تماس شغلی برای مواجهه پوست در زیرنویس جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- مقادیر حد تماس شغلی پرتوگیری پوستی اشعه لیزر

ناحیه طیفی	طول موج (نانومتر)	مدت پرتوگیری (t) بر حسب ثانیه	حد تماس شغلی (AOE)
UV*	۱۸۰-۴۰۰	10^{-9} تا 3×10^{-4}	مطابق جدول ۲
Light & IR-A	۴۰۰-۱۴۰۰	10^{-9} تا 10^{-7}	$z / cm^2 \times 10^{-2} \times C_A$
	۴۰۰-۱۴۰۰	10^{-7} تا 10^{-4}	$z / cm^2 (t^{1/25}) \times 1/1 \times C_A$
	۴۰۰-۱۴۰۰	10^{-4} تا 3×10^4	$w / cm^2 \times 1/2 \times C_A$
IR-B&C**	۱۰۶-۱۴۰۱	10^{-9} تا 3×10^{-4}	مطابق جدول ۲

* ازن (O_3) توسط منابع انتشار پرتو فرابنفش (UV) در طول موج‌های کمتر از ۲۵۰ nm در هوا تولید می شود.

$C_A = 1$ به ازا $\lambda = 700 \text{ nm}$ تا $\lambda = 400 \text{ nm}$ برای $\lambda = 1400 \text{ nm}$ تا $\lambda = 700 \text{ nm}$ به نمودار ۱ مراجعه شود.

** در طول موج‌های بیش از ۱۴۰۰ nm برای سطح مقطع پرتو به میزان بیش از ۱۰۰ سانتی متر مربع و مدت پرتوگیری بیش از ۱۰ ثانیه است، حد تماس شغلی از رابطه $AOE = (10000/A_s) \text{ mW/cm}^2$ به دست می‌آید که A_s مساحت پوست پرتوگرفته از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ سانتی متر مربع و AOE در صورتی که مساحت پوست پرتوگرفته بیش از 1000 cm^2 باشد 10 mW/cm^2 و در صورتی که مساحت پوست پرتوگرفته کمتر از 100 cm^2 باشد حد تماس شغلی 100 mW/cm^2 می‌باشد.

تغییرات زیر برای IR-B&C جدول ۳ پیش‌نهاد شده است:

ناحیه طیفی	طول موج (نانومتر)	مدت پرتوگیری (t) بر حسب ثانیه	حد تماس شغلی (AOE)
IR-B&C	10^6 -۱۴۰۱	10^{-14} تا 3×10^{-4}	مطابق جدول ۲

منبع: حدود تماس شغلی عوامل بیماری‌زا: معاونت سلامت- مرکز سلامت محیط و کار- ۱۳۸۱ صص: ۳۱۵-۳۰۰