

## ارزیابی پرتوهای فرابنفش لامپ‌های کم‌مصرف از نوع فلورسنت فشرده

دلنواز فرودین\*، مجید زمانی و فرید ناصحنیا

سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

\*تهران، انتهای خیابان امیرآباد شمالی (کارگر شمالی)، سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، گروه پژوهشی ایمنی هسته‌ای و حفاظت

پرتوی، کد پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵

پست الکترونیکی: dfarvadin@aeoi.org.ir

### چکیده

فناوری به‌کاررفته در لامپ‌های کم‌مصرف از نوع فلورسنت فشرده (CFL) سبب شده است که انرژی مصرفی آن‌ها تقریباً یک‌چهارم انرژی مصرفی لامپ‌های رشته‌ای برای تولید نور معادل باشد. این در حالی است که عمر مفید CFLها حتی تا ده برابر عمر مفید لامپ‌های رشته‌ای است؛ لذا بسیاری از لامپ‌های رشته‌ای در منازل و مراکز کاری با CFLها جایگزین می‌شوند. بدیهی است که نهادهای مسئول نیز مردم را به این کار تشویق می‌کنند تا علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، از تولید گاز دی‌اکسید کربن هم کاسته شود. در کاربرد CFLها، دو نگرانی مطرح شده است: ورود جیوه به محیط زیست در اثر شکستن این لامپ‌ها و تابش پرتوهای فرابنفش (UV) هنگام روشن بودن. این تحقیق با هدف بررسی میزان پرتوهای فرابنفش CFLهای مورد استفاده برای روشنایی و مقایسه نتایج با حدود استاندارد پرتوگیری انجام شده است. با استفاده از یک دستگاه اسپکترورادیومتر، در شرایط اتاق تاریک شدت مؤثر ( $E_{eff}$ ) پرتوهای فرابنفش تابش شده توسط ۵۰ نمونه CFL با مدل‌ها، اشکال و توان‌های مختلف در فواصل متفاوتی از لامپ‌ها اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای فواصل بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر نسبت به تمامی نمونه‌های بررسی شده، شدت مؤثر UV کمتر از حدود استاندارد است، اما در فواصل کمتر ممکن است برای برخی از نمونه‌ها پرتو دریافتی در مدت‌های کوتاه و حتی تا یک ساعت بیشتر از حد استاندارد گردد. نتیجه‌گیری نهایی به این ترتیب است که در صورت استفاده از لامپ روشنایی به مدت طولانی در هر شبانه‌روز، بهتر است که از CFLهای تک‌جداره استفاده نشود. همچنین استفاده از CFLها در چراغ‌های مطالعه یا رومیزی که در فواصل کمتر از ۳۰ سانتی‌متری ممکن است به‌کار روند، پیشنهاد نمی‌شود. در سایر موارد پرتوگیری UV از CFLها کمتر از حد استاندارد پرتوگیری است.

کلیدواژه‌گان: لامپ کم‌مصرف، فرابنفش، پرتو، اندازه‌گیری، حدود پرتوگیری.

### ۱. مقدمه

اصلی وجود دارد که عبارت‌اند از: یک تیوب که از گاز پر شده و یک بالاست. وظیفه بالاست در CFLها تبدیل جریان الکتریکی ۵۰ هرتز به جریان ۲۵ تا ۷۰ کیلوهرتز، برای شتاب دادن به الکترون‌های گاز داخل لامپ است. الکترون‌های برانگیخته‌شده، نور فرابنفش (UV) تابش می‌کنند که باعث

لامپ‌های کم‌مصرف از نوع فلورسنت فشرده (CFL) در اندازه‌ها، شکل‌ها و مدل‌های مختلفی در دسترس‌اند. برخی از آن‌ها دارای دو، چهار یا شش تیوب یا حباب و برخی دیگر به شکل‌های کروی یا مارپیچی‌اند. در ساختار CFLها دو قسمت

دیگر نشان می‌دهد که اگر این لامپ‌ها در فواصل بیش از ۳۰ سانتی‌متر استفاده شوند، شدت فرابنفش آن‌ها در محدودهٔ حدود پرتوگیری مطابق با رهنمودهای ICNIRP<sup>۱</sup> است و برای سلامت عموم خطری نخواهد داشت [۲، ۵، ۶، ۷ و ۸]. این تحقیق با هدف بررسی میزان پرتوهای فرابنفش CFLهای تولیدشده در ایران و مورد استفاده برای روشنایی و مقایسهٔ نتایج با حدود استاندارد پرتوگیری [۴] و همچنین، نتیجه به‌دست آمده در دیگر کشورها انجام شده است.

## ۲. روش کار

در این تحقیق، با استفاده از یک دستگاه اسپکترورادیومتر، در شرایط اتاق تاریک، شدت مؤثر ( $E_{\text{eff}}$ ) پرتوهای فرابنفش تابش‌شده توسط ۵۰ نمونه لامپ کم‌مصرف با مدل‌ها، اشکال و توان‌های مختلف در فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متر از هر لامپ اندازه‌گیری شده است. همهٔ لامپ‌ها تولید داخل و دارای مهر استاندارد بودند. لامپ‌ها در دو نوع کلی آفتابی و مهتابی انتخاب شدند. سایر مشخصات لامپ‌های انتخاب‌شده در جدول (۱) خلاصه شده است.

ابتدا با استفاده از اسپکترورادیومتر طیف تابشی هر لامپ در فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری لامپ اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رابطهٔ (۱) شدت مؤثر پرتو فرابنفش تابشی لامپ در بازه‌های ۳۱۶ تا ۴۰۰ نانومتر (UV-A)، ۲۸۱ تا ۳۱۵ نانومتر (UV-B)، ۲۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر (UV-C)، و ۲۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر (UV) محاسبه شد.

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

در این رابطه،  $E_{\lambda}$ ، شدت نور تابشی در هر طول موج بر حسب نانوات بر سانتی‌متر مربع بر نانومتر،  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$ ، طول موج‌های محدوده مورد اندازه‌گیری بر حسب نانومتر،  $S_{\lambda}$ ، ضریب نسبی تأثیر هر طول موج بر بدن (کمیت بدون یکا) و  $\Delta\lambda$ ، فاصلهٔ دو طول موج متوالی بر حسب نانومتر است که شدت UV در آن‌ها اندازه‌گیری شده است.  $E_{\text{eff}}$  بر حسب نانوات بر سانتی‌متر مربع به‌دست می‌آید. در اندازه‌گیری‌های

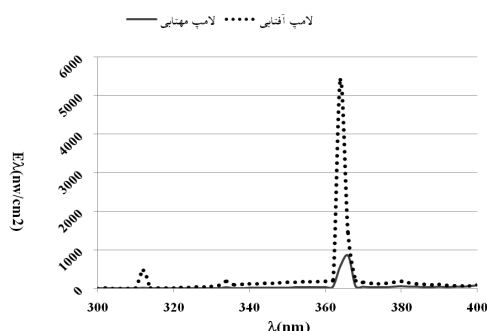
تحریک پوشش فسفری داخل تیوب می‌شود و سپس این ماده نور مرئی تابش می‌کند [۱]. البته همواره مقدار کمی از پرتوهای فرابنفش به بیرون از لامپ گسیل می‌شود که شدت و کیفیت آن به نوع پوشش داخل لامپ و شیشهٔ جدارهٔ لامپ بستگی دارد. عمر مفید لامپ‌های کم‌مصرف، بسته به نوع و کیفیت آن‌ها ۴۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ ساعت است، درحالی‌که عمر مفید لامپ‌های رشته‌ای ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ ساعت است؛ یعنی عمر مفید لامپ‌های کم‌مصرف تقریباً ۸ تا ۱۰ برابر عمر مفید لامپ‌های رشته‌ای، یعنی لامپ‌هایی است که با ملتهب شدن یک رشته سیم فلزی واقع در لامپ، نور تابش می‌کنند. انرژی مصرفی یک CFL با روشنایی معادل با یک لامپ معمولی، تقریباً ۲۰٪ تا ۳۳٪ انرژی مصرفی یک لامپ معمولی است؛ یعنی روشنایی یک CFL ۱۵ وات تقریباً معادل روشنایی یک لامپ معمولی ۶۰ وات است. به‌عبارت دیگر، CFLها تقریباً ۴ برابر بیشتر از لامپ‌های رشته‌ای انرژی الکتریکی را به نور تبدیل می‌کنند. در نتیجه، قیمت برق مصرفی CFLها تقریباً یک‌چهارم قیمت برق مصرفی لامپ‌های رشته‌ای با روشنایی مشابه است و با توجه به کاهش برق مصرفی CFLها و کاهش تولید برق، آلودگی ناشی از تولید برق در نیروگاه‌ها کاهش می‌یابد [۲].

لذا بسیاری از لامپ‌های رشته‌ای در منازل و مراکز کاری، با لامپ‌های کم‌مصرف جایگزین می‌شوند. بدیهی است که نهادهای مسئول نیز مردم را به این کار تشویق می‌کنند تا علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، از تولید گاز دی‌اکسید کربن هم کاسته شود [۲].

در کاربرد CFLها، دو نگرانی ورود جیوه به محیط زیست در اثر شکستن این لامپ‌ها و تابش پرتوهای فرابنفش (UV) هنگام روشن شدن آن‌ها مطرح شده است. مقدار جیوه به‌کاررفته در نمونه‌های جدید لامپ‌های کم‌مصرف از جیوه به‌کاررفته در یک باطری ساعت یا جیوه موجود در یک قوطی کنسرو کمتر است و با استفاده از روش‌های مناسب بازفروری می‌توان از ورود جیوه CFLها به محیط زیست جلوگیری کرد [۱]. از سوی دیگر، پرتوهای فرابنفش می‌توانند بر پوست و چشم اثر نامطلوب بگذارند [۳] و باید حدود پرتوگیری استاندارد درخصوص آن‌ها رعایت شود [۴]. نتایج مطالعات کشورهای

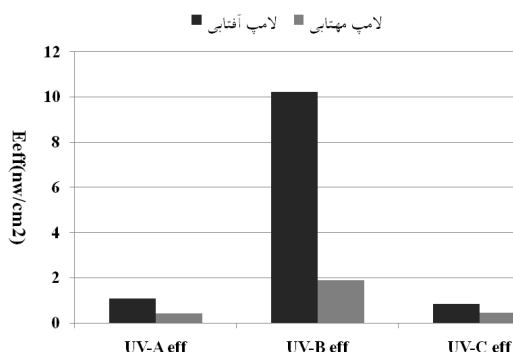
1. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

2. Effective intensity



شکل ۲: طیف‌های تابشی لامپ‌های آفتابی و مهتابی با توان و شکل یکسان در ناحیه فرابنفش

در نمودار شکل (۳)، شدت مؤثر انواع پرتو UV یک لامپ آفتابی و یک لامپ مهتابی با توان و مارک یکسان، مقایسه شده است.



شکل ۳: مقایسه شدت مؤثر انواع UV یک لامپ آفتابی و یک لامپ مهتابی با توان یکسان

با توجه به نمودارهای شکل‌های ۲ و ۳ مشخص می‌شود که شدت مؤثر پرتو UV تابش شده توسط یک لامپ آفتابی در شرایط کاملاً مشابه، از شدت مؤثر پرتو UV تابش شده توسط یک لامپ مهتابی بیشتر است. با توجه به آنچه درباره میانگین شدت مؤثر پرتوهای UV لامپ‌های کم‌مصرف ارائه خواهد شد، این مطلب به‌طور کلی هم صحیح است؛ یعنی در ساختار داخلی این لامپ‌ها پوشش داخلی به‌گونه‌ای است که بخش بیشتری از پرتو UV تولید شده در لامپ‌های آفتابی از آن‌ها به بیرون تابش شود. در واقع، لامپ‌های آفتابی، نور خورشید و لامپ‌های مهتابی، نور ماه را شبیه‌سازی می‌کنند. در نور طبیعی خورشید مقداری پرتو UV وجود دارد، در حالی که این پرتو به‌طور طبیعی در مهتاب وجود ندارد.

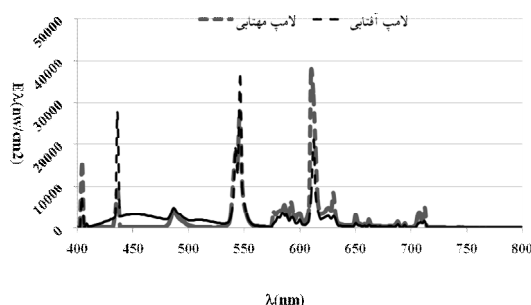
انجام شده،  $\Delta\lambda$  مساوی با ۲ نانومتر بوده است و مقادیر  $S_{\lambda}$  از استاندارد [۴] استخراج شده است.

جدول ۱: مشخصات انواع لامپ‌های مورد آزمون

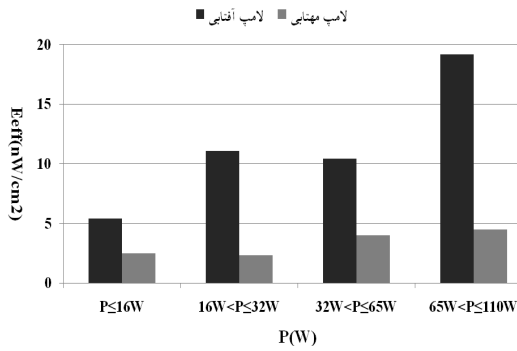
ردیف	مشخصات	تعداد
۱		۱۲
مارک	۱	۱
	۲	۶
	۳	۲۳
	۴	۶
	۵	۲
	۶	۱۶
شکل ۲	لوله‌ای	۲۵
	مارپیچی	۹
	کروی	۱۲
توان ۳	کمتر یا مساوی ۱۶ وات	۱۶
	بین ۱۷ و ۳۲ وات	۱۲
	بین ۳۳ و ۶۵ وات	۱۰
	بین ۶۶ و ۱۱۰ وات	۱۳
نوع ۴	آفتابی	۳۷
	مهتابی	

### ۳. یافته‌ها

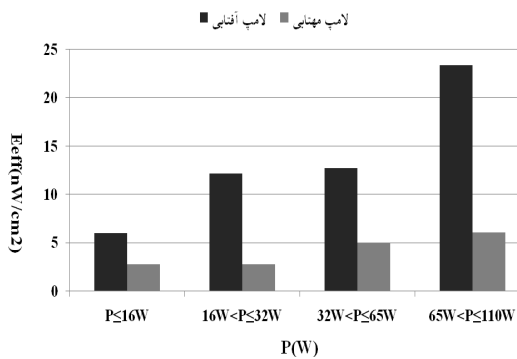
طیف تابشی لامپ‌های آفتابی مورد آزمون مستقل از مارک، توان و شکل آن‌ها، مشابه هستند و این مطلب در مورد لامپ‌های مهتابی مورد آزمون نیز صدق می‌کند. نمودارهای شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب طیف تابشی دو لامپ آفتابی و مهتابی با توان و شکل یکسان را در ناحیه‌های نورمرئی و فرابنفش نشان می‌دهند.



شکل ۱: طیف‌های تابشی لامپ‌های آفتابی و مهتابی با توان و شکل یکسان در ناحیه مرئی



شکل ۵: مقایسه شدت مؤثر UV-B+C لامپ‌های مورد آزمون



شکل ۶: مقایسه شدت مؤثر کل UV لامپ‌های مورد آزمون

حداکثر زمان مجاز قرار گرفتن در معرض تابش UV در هر شبانه‌روز، از رابطه (۲) محاسبه می‌شود [۴].

$$t < \frac{30}{E_{eff}} \quad (2)$$

در این رابطه،  $E_{eff}$ ، شدت مؤثر پرتو UV در محل قرار گرفتن شخص بر حسب  $W/m^2$  جایگزین می‌شود و  $t$  بر حسب ثانیه به دست می‌آید.

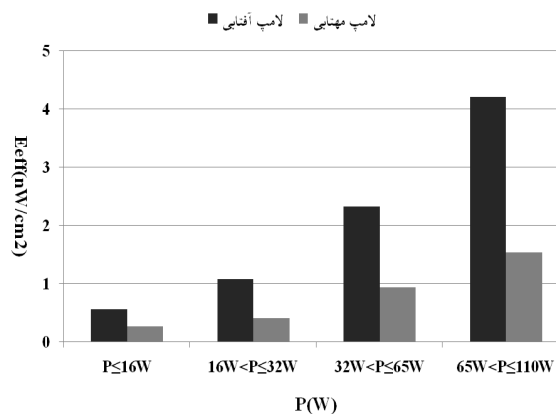
حداکثر مقدار شدت مؤثر پرتو UV تابش شده توسط لامپ‌های مورد آزمون در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از هر لامپ و زمان مجاز برای قرار گرفتن فرد در برابر تابش هر لامپ، در جدول (۳) ارائه شده است. از آنجایی که توان اغلب CFL‌های مورد استفاده در منازل کمتر از ۶۵ وات است، مقادیر برای توان‌های کمتر از ۶۵ وات و بیشتر از آن، جداگانه در جدول داده شده است. در سطرهایی که زمان مجاز بیشتر از ۲۴ ساعت به دست آمده است، بدان معنی است که می‌توان همواره در

میانگین شدت مؤثر UV در نواحی مختلف، برای انواع لامپ‌های مورد آزمون، با توجه به توان و مهتابی یا آفتابی بودن آن‌ها، در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به استفاده از یک اسپکترو رادیومتر کالیبره، خطای اندازه‌گیری  $\pm 0.1\%$  است.

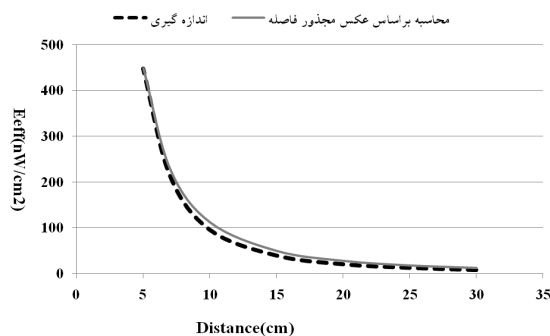
جدول ۲: میانگین شدت مؤثر انواع UV بر حسب  $nW/cm^2$

نوع پرتو				مشخصات لامپ	
UV	UV-C	UV-B	UV-A	نوع لامپ	محدوده توان لامپ به وات
۶/۰۰	۰/۲۹	۵/۱۴	۰/۵۷	آفتابی	$p \leq 16$
۲/۷۹	۰/۵۴	۱/۹۸	۰/۲۷	مهتابی	
۱۲/۱۵	۰/۸۵	۱۰/۲۲	۱/۰۸	آفتابی	$16 < p \leq 32$
۲/۸۳	۰/۴۴	۱/۸۸	۰/۴۱	مهتابی	
۱۲/۷۳	۰/۴۶	۹/۹۵	۲/۳۳	آفتابی	$32 < p \leq 65$
۴/۹۴	۰/۵۰	۳/۵۰	۰/۹۴	مهتابی	
۲۳/۳۸	۰/۲۲	۱۸/۹۵	۴/۲۱	آفتابی	$65 < p \leq 110$
۶/۱	۰/۳۲	۴/۲۰	۱/۵۴	مهتابی	

در نمودارهای شکل‌های ۴ و ۵ و ۶ به ترتیب، شدت‌های مؤثر انواع UV لامپ‌های مورد آزمون در محدوده‌های توان تعیین شده، برای لامپ‌های آفتابی و مهتابی مقایسه شده است.



شکل ۴: مقایسه شدت مؤثر UV-A لامپ‌های مورد آزمون



شکل ۷: تغییرات شدت مؤثر پرتو UV یک لامپ آفتابی با تغییر فاصله از لامپ

جدول ۴: حداکثر زمان مجاز قرار گرفتن در معرض تابش CFL‌های مورد آزمون

نوع لامپ	زمان مجاز در هر فاصله					محدوده توان لامپ به وات
	۳ (cm)	۵ (cm)	۱۰ (cm)	۱۵ (cm)	۳۰ (cm)	
آفتابی	۱۶ دقیقه	۴۶ دقیقه	۳ ساعت	۷ ساعت	۲۸ ساعت	$p \leq 65$
	۴۰ دقیقه	۱/۵ ساعت	۷ ساعت	۱۶ ساعت	۶۷ ساعت	
آفتابی	۱۱ دقیقه	۳۱ دقیقه	۲ ساعت	۴ ساعت	۱۹ ساعت	$65 < p \leq 110$
	۲۸ دقیقه	۱ ساعت	۵ ساعت	۱۲ ساعت	۴۸ ساعت	

#### ۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

براساس نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، در صورت استفاده از CFLها در فواصل بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر نسبت به لامپ، پرتوگیری UV از لامپ‌ها کمتر از حد استاندارد پرتوگیری است. مشابه این نتیجه در اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در کشورهای دیگر نیز به‌دست آمده است [۱، ۲، ۵ و ۶]. توجه به نتایج زیر می‌تواند در بهینه‌سازی کاربرد CFLها مؤثر باشد:

- در کاربردهایی که فاصله لامپ روشنایی خانگی از افراد کمتر از ۳۰ سانتی‌متر است، از CFL یک‌جداره استفاده نشود. در این کاربردها استفاده از CFL دوجداره بلامانع است.

برابر تابش آن لامپ قرار گرفت بدون آنکه پرتوگیری از حد استاندارد بیشتر شود.

جدول ۳: حداکثر شدت UV لامپ‌های مورد آزمون در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از هر لامپ

محدوده توان لامپ به وات	نوع لامپ	حداکثر شدت مؤثر UV nW/cm <sup>2</sup>	زمان مجاز (ساعت)
$p \leq 65$	آفتابی	۲۹/۴۱	۲۸
	مهتابی	۱۲/۴۲	۶۷
$65 < p \leq 110$	آفتابی	۴۲/۴۵	۱۹
	مهتابی	۱۷/۲۶	۴۸

با توجه به جدول (۳)، مشاهده می‌شود که در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از همه لامپ‌های مهتابی مورد آزمون، پرتوگیری همواره بسیار کمتر از حد مطابق با استاندارد است. همین مطلب درباره لامپ‌های آفتابی با توان کمتر از ۶۵ وات نیز صدق می‌کند. فقط درباره لامپ‌های آفتابی با توان‌های بیشتر از ۶۵ وات، فرد نباید همواره در معرض تابش قرار گیرد، اما برای زمان‌های کمتر از ۱۹ ساعت پرتوگیری در هر شبانه‌روز، باز هم پرتوگیری کمتر از حد استاندارد است و خطری وجود ندارد.

نمودار شکل (۷) تغییرات شدت مؤثر پرتو فرابنفش یک لامپ آفتابی ۳۰ وات را برحسب فاصله از لامپ نمایش می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری، شدت مؤثر پرتو UV تقریباً با عکس مجذور فاصله از لامپ متناسب است. این ویژگی درباره تابش سایر لامپ‌های مورد آزمون نیز درست است. با توجه به رابطه (۲)، اگر شدت مؤثر پرتو UV،  $n$  برابر شود، حداکثر زمان مجاز پرتوگیری  $1/n$  برابر می‌شود. به این ترتیب، با استفاده از جدول (۳)، زمان‌های مجاز برای فواصل دیگر در جدول (۴) ارائه شده است. با توجه به مقادیر ارائه‌شده در جدول، دیده می‌شود که در فواصل کمتر از ۲۰ سانتی‌متر از لامپ، حتی برای CFLهای با توان کمتر از ۶۵ وات که در منازل هم مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید احتیاط به عمل آید و به‌خصوص در مواردی که فاصله لامپ از سر کم است، مثلاً در چراغ‌های مطالعه، بهتر است که از CFLها استفاده نشود.

- در فواصل بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر، قرارگرفتن در معرض CFL مورد استفاده در روشنایی منازل، بلامانع است.
- از CFL به‌عنوان لامپ خواب یا لامپ مطالعه استفاده نشود. در این کاربردها استفاده از CFL دوجداره بلامانع است.
- افرادی که بیماری‌های پوستی خاص دارند یا از داروهای خاصی استفاده می‌کنند یا به نور حساس‌اند، با احتیاط بیشتر و با مشورت با پزشک از CFLها استفاده کنند. توصیه می‌شود که این افراد حتی‌الامکان از CFLهای دوجداره (با حباب خارجی اضافی) استفاده کنند.
- از نصب تعداد زیادی CFL در یک محیط کوچک خودداری شود.
- برای ممانعت از ورود جیوه داخل لامپ به محیط زیست، از شکستن آن خودداری شود.

## ۵. مراجع

- [1] Federal Office of Public Health, Switzerland, Energy Saving Lamps, [www.bag.admin.ch/themen/strahlung/0053/00673/0236/inde...](http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/0053/00673/0236/inde...), 2011, Accessed Dec. 2013.
- [2] Health Protection Agency, U.K., Emissions from Compact Fluorescent Lights, [www.hpa.org.uk/newscenter/nationalpressreleases/081009...](http://www.hpa.org.uk/newscenter/nationalpressreleases/081009...), 2010, Accessed Dec. 2013.
- [3] دلنواز فرودین، مهران کاتوزی، حفاظت در برابر اشعه در مراکز کار بالیزر، شرکت درپید، ۱۳۸۷، ۷۷ص.
- [4] سازمان انرژی اتمی ایران، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، استاندارد پرتوهای غیریونساز- حدود پرتوگیری، سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۵، ۳۱ص.
- [5] Health Canada, Ultraviolet and electric and Magnetic Fields from Compact Fluorescent Lamps, <http://oee.nrcan.gc.ca/residential/personal/2713#cn-tphp>, 2009, Accessed Jan. 2014.
- [6] ARPANSA, Ultraviolet Radiation Emissions from Compact Fluorescent Lights, [www.arpansa.gov.au/radionprotection/factsheets](http://www.arpansa.gov.au/radionprotection/factsheets), 2012, Accessed Jan. 2014.
- [7] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines on UV Radiation Exposure Limits. Health Physics 71 (6): 978; 1996.
- [8] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3 $\mu$ m). Health Physics 73 (3): 539-554; 1997.