

به نام خدا
پژوهشگاه نیرو

نام گزارش: بررسی اثرات لامپهای کم مصرف CFL بر انسان و محیط زیست

کد گزارش: JIESB01/T2-1, T2-2/02

عنوان پروژه: مطالعات بکارگیری گسترده لامپهای کم مصرف CFL در کشور

مدیر پروژه: بهروز عارضی

کارفرما: سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) - پژوهشگاه نیرو

تهیه کننده: گروه پژوهشی الکترونیک صنعتی

تاریخ: مرداد ماه ۱۳۸۸

پیشگفتار

پیش از آنکه استانداردهایی در زمینه ایمنی در سطح جهانی تدوین شود، تولید انبوه لامپها بدون پیروی از الگویی خاص در جریان بود؛ حال آنکه ارزیابی و کنترل خطرات حاصل از تشعشع لامپها بر انسان و محیط زیست امری حیاتی و گریزناپذیر می باشد. این در حالی است که لامپ کم مصرف CFL بعنوان یکی از لامپهای جایگزین لامپهای رشته‌ای در سالهای اخیر مطرح شده است و در بسیاری از کشورهای پیشرفته طرحهایی جهت استفاده آزمایشی و جایگزینی درازمدت لامپهای رشته‌ای با این لامپها در قالب قانونی همه جانبه ارائه شده است. در این میان نظرات متفاوتی پیرامون آثار جانبی استفاده فراگیر از این فناوری مطرح است که زمینه تحقیق علمی را برای محققین فراهم می آورد.

با وجود آنکه در پی تولید و استفاده گسترده از لامپهای کم مصرف در گوشه و کنار دنیا نظرات مخالف زیادی در راستای خطرات احتمالی استفاده از این لامپها مطرح شد، آنگونه که استنباط می شود اکثر مخالفتها بر پایه مستندات علمی استوار نبوده و لذا ضرورت تحقیق و ارائه نتایجی مستدل در رابطه با معایب و مضرات احتمالی استفاده از لامپهای کم مصرف بر بدن انسان علی الخصوص ارگانهای کلیدی از قبیل چشم، پوست و سیستم عصبی و همچنین محیط زیست ضروری به نظر می رسد.

لذا در فصل اول این گزارش به شرح کوتاهی از ویژگیهای لامپهای کم مصرف پرداخته شده؛ سپس در فصل دوم سعی خواهد شد زوایای آثار جانبی تشعشع لامپها بر چشم و پوست انسان روشن شود. در فصل سوم به تشریح رویه آزمون ایمنی فتوبیولوژیکی لامپها و شرح یک آزمون تقریبی پرداخته شده، در فصل

چهارم به بررسی آثار جانبی احتمالی استفاده از این لامپها بر سیستم عصبی و بالاخره در فصل پنجم به بررسی

تاثیر استفاده از لامپهای کم مصرف بر محیط زیست مبادرت گردیده است.

لازم به ذکر است که استاندارد IEC62471 که مرجع اصلی تهیه این گزارش می باشد توسط مؤسسه

استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ترجمه و ملی شده است، لیکن در زمان تهیه این گزارش هنوز تأیید

نگردیده و انتشار نیافته است. لذا همان استاندارد بین المللی IEC در این گزارش مورد استناد قرار گرفته است.

این گزارش در ارتباط با مراحل ۱-۲ و ۲-۲ پروژه "مطالعات بکارگیری گسترده لامپهای کم مصرف

CFL در کشور" توسط خانم مهندس سارا حقیقی و آقای مهندس بهروز عارضی نگارش یافته و توسط آقای

مهندس مهرداد صمدی از شرکت توانیر داوری شده است.

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	فصل اول: ویژگی‌های کلی لامپهای CFL.....
۲	۱-۱- مقدمه.....
۳	۲-۱- تاریخچهٔ پیدایش و تحول لامپهای کم مصرف CFL.....
۵	۳-۱- مروری بر کلیات ساختار و عملکرد لامپهای کم مصرف CFL.....
۶	۱-۳-۱- طیف نور و محدودهٔ طول موج نور منتشر شده توسط لامپهای CFL.....
۹	فصل دوم: بررسی تاثیر تشعشع لامپهای CFL بر چشم و پوست.....
۱۰	۱-۲- مقدمه.....
۱۱	۲-۲- آثار جانبی تشعشع نور لامپ بر بدن.....
۱۴	۱-۲-۲- آثار نامطلوب تشعشع نور لامپ برای چشم.....
۱۵	۲-۲-۱-۱- آثار تشعشع فرابنفش بر چشم.....
۱۷	۲-۲-۱-۲- اثرات نامطلوب نور مرئی بر چشم.....
۱۸	۲-۲-۲- آثار تشعشع نور لامپ بر پوست.....
۲۰	۳-۲-۲- محدوده های مجاز مواجهه و روابط محاسباتی مجموع تابش طیفی مؤثر به تفکیک چشم و پوست.....
۲۰	۲-۲-۳-۱- مروری بر مفاهیم، علائم اختصاری و واژه های تخصصی مرتبط با روشنایی و سامانه لامپها.....
۲۹	۲-۲-۳-۲- حدود مجاز مواجهه.....
۳۸	فصل سوم: رویه آزمون ایمنی فتوبیولوژیکی لامپهای CFL.....
۳۹	۱-۳- وسایل مورد نیاز.....
۳۹	۲-۳- روش اندازه گیری طیف توان اشعه.....
۴۰	۳-۳- روش اندازه گیری طیف درخشندگی لامپ.....
۴۰	۳-۳-۱- تئوری روش.....
۴۲	۳-۳-۲- شرح کار.....
۴۲	۳-۴- اندازه گیری زاویه تابش لامپ.....
۴۳	۳-۵- تجزیه و تحلیل نتایج اندازه گیری.....

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۴۷	۳-۶- گزارش آزمون ایمنی انجام شده در آزمایشگاه روشنایی دانشگاه تهران.....
۴۷	۳-۶-۱- اندازه گیری شاخص E _{UVA} برای چند عدد لامپ نمونه.....
۴۸	۳-۶-۲- اندازه گیری شاخص E _s
۵۱	فصل چهارم: بررسی تاثیر احتمالی استفاده از لامپهای CFL بر سیستم عصبی و سایر ارگانهای بدن.....
۵۲	۴-۱- مقدمه.....
۵۲	۴-۲- سردردهای میگرنی.....
۵۳	۴-۳- سندروم Irlin.....
۵۴	۴-۴- حساسیت الکتریکی.....
۵۶	۴-۵- سرطان.....
۵۸	فصل پنجم: بررسی تاثیر استفاده از لامپهای CFL بر محیط زیست از حیث وجود جیوه.....
۵۹	۵-۱- مقدمه.....
۶۰	۵-۲- خطرات جیوه بر محیط زیست.....
۶۰	۵-۳- حد مجاز استاندارد جیوه برای لامپهای کم مصرف CFL.....
۶۲	فصل ششم: نتیجه گیری.....
۶۵	مراجع.....

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۴	جدول (۱-۲): تأثیرات فیزیولوژیکی پرتوهای فرابنفش و نور مرئی بر چشم و پوست.
۳۳	جدول (۲-۲): تابع وزن‌دهی طیفی $S_{UV}(\lambda)$ نمایانگر میزان تأثیر پرتو فرابنفش بر چشم و پوست.
۳۶	جدول (۳-۲): مقادیر توابع وزن‌دهی طیفی مربوط به آسیبهای شبکیه حاصل از تشعشع.
۴۰	جدول (۱-۳): مقادیر اندازه‌گیری شده E_λ .
۴۲	جدول (۲-۳): مقادیر اندازه‌گیری شده L_λ .
۴۴	جدول (۳-۳): نحوه رده‌بندی لامپها براساس مخاطرات محتمل و حدود مجاز مواجهه در هر رده.
۴۵	جدول (۴-۳): تابع وزن‌دهنده $S_{UV}(\lambda)$.
۴۶	جدول (۵-۳): توابع وزن‌دهنده $B(\lambda)$ و $R(\lambda)$.
۴۷	جدول (۶-۳): زمان مجاز مواجهه با انواع لامپهای CFL.
۵۴	جدول (۱-۴): پاره‌ای از اختلالات ناشی از حساسیت الکتریکی (EHS).

فهرست اشکال

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۳۲.....	شکل (۱-۲): تابع وزن‌دهی طیفی $S_{UV}(\lambda)$ نمایانگر اثرات پرتو فرابنفش بر چشم و پوست.....
۳۵.....	شکل (۲-۲): توابع وزن‌دهی طیفی برای آسیب‌های شبکیه.....
۴۰.....	شکل (۱-۳): روش اندازه‌گیری طیف توان تابشی.....
۴۲.....	شکل (۲-۳): روش اندازه‌گیری طیف درخشندگی.....
۵۵.....	شکل (۱-۴): نتایج حاصل از تحریک حساسیت الکتریکی و بروز سردرد در اثر تابش نور.....



فصل اول: ویژگیهای کلی لامپهای CFL

۱-۱- مقدمه

هرگاه مباحثی در زمینه روشنایی لامپها مطرح می شود، توجه اغلب مردم به لامپهای معمولی ارائه شده توسط توماس ادیسون و سایر مخترعین جلب می شود. این لامپها با استفاده از جریان الکتریسیته و یک فیلامان^۱ کار می کنند. خاصیت مقاومتی فیلامان داخل حباب لامپ، در دماهای بالا بروز می کند؛ لذا گرمای حاصل از الکتریسیته منجر به گداخته شدن فیلامان و انتشار نور می گردد. حال آنکه لامپهای قوسی^۲ و یا لامپهای بخار^۳ عناصر (شامل لامپهای کم مصرف) به طریقه متفاوتی عمل می کنند. در این دسته از لامپها، نور از گرما بوجود نمی آید بلکه به هنگام اعمال جریان الکتریسیته به گازهای مختلف موجود در محفظه تخلیه شیشه ای، نور در اثر بروز واکنشهای شیمیایی تولید می شود.

لامپهای فلورسنت فشرده^۴ (CFL) که تحت عناوین روشنایی فلورسنت فشرده^۵، چراغ ذخیره انرژی^۶ و یا محفظه فلورسنت فشرده^۱ (CFT) نیز شناخته می شود؛ دسته ای از انواع لامپهای کم مصرف معمولی می باشند. طراحی لامپهای فلورسنت فشرده اولین بار در راستای تحقق طرح جایگزینی با لامپهای رشته ای صورت گرفت. این لامپها ضمن اینکه از میزان روشنایی برابر با لامپهای رشته ای برخوردارند، در مقایسه با آنها بهره مند از توانی کمتر و در مقابل طول عمری بالاتر می باشند. به عنوان مثال در ایالات متحده امریکا هر لامپ کم مصرف در طول عمر خود، قادر به صرفه جویی ۳۰ دلار در هزینه های انرژی الکتریکی نسبت به

¹ Filament

² Arc Lamps

³ Vapor Lamps

⁴ Compact Fluorescent Lamp

⁵ Compact Fluorescent Light

⁶ Energy Saving Light

لامپهای رشته‌ای بوده و تا ۲۰۰۰ برابر وزن خود از تولید گازهای گلخانه‌ای جلوگیری بعمل می‌آورد. در ادامه این فصل به ذکر تاریخچه و شرح مختصری از خصوصیات عمومی لامپهای CFL مبادرت خواهد گردید.

۱-۲- تاریخچه پیدایش و تحول لامپهای کم مصرف CFL

در سال ۱۸۵۷، فیزیکدان فرانسوی Alexandre E. Becquerel که به بررسی در زمینه پدیده‌های فلورسانس^۲ و فسفرسانس^۳ می‌پرداخت، تئوری ای در راستای ساخت لامپهای کم مصرف ارائه کرد. وی تئوری خود را با استفاده از تیوب‌های تخلیه الکتریکی^۴ آغشته به مواد درخشان^۱ مورد آزمایش قرار داد. شایان ذکر است این فرآیند بعدها در تولید لامپهای کم مصرف بهبود داده شد.

در سال ۱۹۰۱، Peter Cooper Hewitt اولین لامپ بخار جیوه را به ثبت رساند. لامپ قوسی جیوه کم فشار طراحی شده توسط این دانشمند امریکایی اولین نمونه از لامپهای کم مصرف امروزی است. به عبارت دیگر، لامپ فلورسنت نوعی لامپ الکتریکی است که از طریق تحریک بخار جیوه، روشنایی تولید می‌کند. بنابر اظهارات مؤسسه Smithsonian، تحقیقات peter Cooper در اواسط قرن نوزدهم بر مبنای فعالیت‌های Julius Plucker و Heinrich Geissler فیزیکدان و شیشه‌گر آلمانی استوار است. چراکه Plucker و Geissler دریافتند با عبور جریان الکتریکی از محفظه شیشه ای حاوی مقدار کمی گاز، می‌توان نور تولید کرد. Peter Cooper Hewitt، در اواخر دهه ۱۸۹۰، تئوری مطروح را به محفظه‌های پوشیده از جیوه بسط

¹ Compact Fluorescent Tube

² Fluorescence

³ Phosphorescence

⁴ Electrical Discharge Tubes

داد و متوجه شد که این محفظه ها نور سبزآبی نه چندان مناسبی از خود منتشر می کنند که مقداری متغیر دارد. Hewitt طی بررسی های خود دریافت تعداد کمی از مردم تمایل به استفاده از این لامپها در مصارف خانگی دارند، لذا توجه خود را بر توسعه کاربرد این محصولات در زمینه های دیگر متمرکز کرد. این زمینه ها شامل استودیوهای عکاسی و کاربردهای صنعتی بود. به این ترتیب، George Westinghouse و Peter Cooper Hewitt کمپانی Westinghouse-Controlled Cooper Hewitt Electric را جهت تولید تجاری اولین لامپهای جیوه ای تأسیس کردند.

Marty Goodman در تاریخچه روشنائی الکتریکی این گونه اظهار می دارد: « در سال ۱۹۰۱، یک مخترع گمنام به نام Peter Cooper Hewitt لامپی قوسی اختراع کرد که از بخار جیوه استفاده می کرد. این بخار در محفظه ای شیشه ای محبوس بود. این اولین لامپ قوسی با استفاده از بخار فلزات بود. در سال ۱۹۳۴، گونه متفاوتی پرفشار این لامپ توسط Edmund Germer ارائه شد که قادر به بکارگیری قدرت بالاتر در فضایی کوچک تر بود.

مدل لامپ قوسی جیوه ای کم فشار طراحی شده توسط Peter Cooper Hewitt مبنای طراحی تمامی لامپهای کم مصرف مدرن امروزی است. شایان ذکر است این لامپهای قوسی جیوه ای کم فشار مقدار زیادی نور فرابنفش منتشر می کنند.

محققین بعدها دریافتند، چنانچه فضای داخل محفظه شیشه ای با یک ماده شیمیایی فلورسنت مناسب (که قادر به جذب اشعه فرابنفش و تشعشع مجدد این انرژی بصورت نور مرئی باشد). پوشانده شود، منبع نور مناسبی حاصل خواهد شد.

¹ Luminescent

بهبودی که دانشمند آلمانی Edmund Germer در ساختار لامپهای فلورسنت و بخار جیوه پرفشار بوجود آورد، امکان تولید لامپها را بصورت اقتصادی تر و با میزان گرمای کمتر حاصل کرد. وی در سال ۱۹۲۷ با همکاری Friedrich Meyer و Hans Spanner نسخه آزمایشگاهی لامپ کم مصرف را به ثبت رساند. این دانشمند در محافل علمی بعنوان اولین مخترع لامپهای فلورسنت شناخته می شود. حال آنکه تاریخچه ابداع این لامپها به سال ها پیش از او بر می گردد.

George Inman هدایت یک گروه از محققان General Electric را در زمینه بهبود و توسعه کاربرد لامپهای فلورسنت بر عهده داشت. با وجود فشار کمپانیهای رقیب، این گروه اولین نمونه لامپ کم مصرف کاربردی با نور مرئی را تولید کرد که برای اولین بار در سال ۱۹۳۸ به فروش رسید و در سال ۱۹۴۱ ثبت شد. CFL امروزی توسط Ed Hammer یکی از مهندسان جنرال الکتریک در سال ۱۹۷۳ در پاسخ به بحران نفت ابداع شد. از آنجا که پیاده سازی این طرح در حدود ۲۵ میلیون دلار برای جنرال الکتریک هزینه دربر داشت، کنار گذاشته شد. در پی این اتفاق و فاش شدن این طرح، سایر شرکت ها شروع به الگوبرداری و تولید این لامپ کرده و به این ترتیب، فروش لامپهای کم مصرف فشرده، به مرور زمان قوت گرفت.

۱-۳- عملکرد لامپهای کم مصرف CFL

مهم ترین مزیت ساختاری لامپهای کم مصرف CFL، جایگزینی بالاست^۱ القایی با بالاست الکترونیکی است. به این ترتیب فرآیند روشن شدن آهسته و سوسوزدن رایج در لامپهای فلورسنت لوله ای برطرف شده است.

^۱ Ballast

دو بخش اصلی در لامپهای کم مصرف فشرده شامل محفظه پر از گاز (لامپ) و بالاست الکترونیکی می باشد. به این ترتیب جریان بالاست در درون گاز جاری شده و منجر به تشعشع نوری با طول موج فرابنفش می شود. سپس اشعه فرابنفش لایه فسفر پوشیده شده در فضای داخلی محفظه را تحریک می کند و در نتیجه نور مرئی منتشر می شود.

از جمله مزایای لامپهای کم مصرف می توان به طول عمر آنها اشاره کرد که برابر با ۶۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ ساعت گزارش شده است که در مقایسه با طول عمر ۷۵۰ تا ۱۰۰۰ ساعتی لامپهای رشته ای، مقدار قابل ملاحظه ای می باشد. ویژگی دیگر این لامپها مصرف بهینه انرژی است که با استفاده از یک پنجم تا یک سوم توان مصرفی لامپهای رشته ای مشابه قادر به انتشار شار نوری برابر هستند، لذا با به کارگیری این لامپها در میزان جریان مصرفی صرفه جویی شده و از میزان گرمای تولیدی توسط سیستم روشنایی کاسته می شود. عامل دیگر، بیانگر کارآمدی لامپ در تبدیل توان الکتریکی به توان تشعشعی می باشد که در لامپهای CFL این عامل برابر با ۱۷ تا ۲۱ درصد است. اگرچه قیمت لامپهای کم مصرف فشرده در مقایسه با سایر لامپهای موجود در بازار بالا است، هزینه تمام شده یک لامپ فلورسنت لوله ای با احتساب طول عمر بالا و مصرف انرژی پایین، کمتر از نمونه های مشابه در میان لامپهای دیگر می باشد. زمان شروع به کار لامپهای کم مصرف نیز از دیگر ویژگی های قابل توجه در این لامپها است، چرا که از زمان برقراری جریان، مدتی طول می کشد تا این لامپها به میزان روشنایی کامل خود دست یابند.

۱-۳-۱- طیف نور و محدوده طول موج نور منتشر شده توسط لامپهای CFL

چنانچه پیش از این نیز اشاره شد، در لامپهای کم مصرف بالاست الکتریکی با برقراری جریان الکتریکی میان الکترودهای موجود در داخل فضای شیشه ای لامپ، گاز موجود در این فضا را فعال می کنند که این امر

منجر به تولید اشعه فرابنفش می شود. این اشعه پوشش فسفر لایه داخلی لامپ را برانگیخته و نور به صورت مرئی تابش می شود. به این ترتیب، ۶۰ درصد انرژی مصرفی لامپهای کم مصرف به شکل گرما در آمده و ۴۰ درصد آن تولید نور می کند. نور منتشر شده از لامپهای کم مصرف فشرده، ترکیبی از مواد فسفری موجود در لایه داخلی لامپ است که هر کدام رنگی خاص بازتاب می کنند. طراحی ترکیبات فسفری مدرن در راستای حفظ تعادل میان نور منتشر شده، کارایی انرژی و قیمت تمام شده صورت گرفته است.

از آنجا که لامپهای CFL جهت تولید روشنایی عمومی به کار گرفته می شوند، قسمت قابل توجه نور منتشر شده توسط این لامپها به محدوده نور مرئی با طول موج ۴۰۰ تا ۷۸۰ نانومتر تعلق دارد. در عین حال تشعشعات این لامپها شامل طول موج های کوتاه تر از نور مرئی و یا به عبارت دیگر تابش ماوراء بنفش می باشد که به ناحیه مابین ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر اختصاص دارد و به صورت زیر در سه بخش عمده تقسیم بندی می شود:

◆ UV-A : ۳۱۵ تا ۴۰۰ نانومتر

◆ UV-B : ۲۸۰ تا ۳۱۵ نانومتر

◆ UV-C : ۱۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر

با توجه به امکان تشعشع فرابنفش لامپهای CFL و با عنایت به پوشش جیوه لایه درونی این لامپها، می توان احتمال بروز تأثیرات استفاده از این لامپها را بر روی ارگان های بدن انسان و محیط زیست در نظر گرفت و مورد بررسی قرار داد. از آنجا که پس از رواج استفاده گسترده از لامپهای کم مصرف در اقصی نقاط کشور، شاهد مخالفتها و مقاومت های روزافزون برخی مصرف کنندگان و بعضاً انجمنهای بهداشتی در این زمینه بوده ایم که البته هیچ یک بر پایه شواهد و مستندات علمی ارائه نگردیده اند؛ در این گزارش و طی فصلهای آینده آثار جانبی نامطلوب ناشی از به کارگیری گسترده لامپهای کم مصرف CFL در شبکه برق



کشور بر روی انسان و محیط زیست مورد بررسی دقیق‌تر قرار خواهند گرفت و شاخصهای ارزیابی و حدود

مجاز بین‌المللی این شاخصها معرفی خواهد شد.



فصل دوم: بررسی تاثیر تشعشع لامپهای CFL

بر چشم و پوست

۲-۱- مقدمه

استفاده از لامپهای کم مصرف CFL نیز مشابه فناوریهای نوظهور دیگر بعد از رواج استفاده گسترده در سطح جامعه، آماج انتقادات روزافزون در خصوص معایب این فناوری، خطرات احتمالی آن و مقایسه با تکنولوژی های قدیمی تر قرار گرفت. اگرچه الزام استفاده از این لامپها در برخی از کشورهای دنیا بصورت قانون در آمده است، بسیاری از محافل علمی انتقاداتی در راستای آثار جانبی این لامپها بر روی ارگان های حیاتی انسان مطرح ساخته اند که ضرورت بررسی صحت و سقم این ادعاها اجتناب ناپذیر است. در این فصل به بررسی آثار جانبی استفاده از این لامپها بر چشم و پوست بر اساس موارد مطرح شده در مراجع معتبر پرداخته شده و بررسی آثار دیگر شامل تاثیر بر سیستم عصبی و سایر اعضا در فصلهای مجزا صورت خواهد پذیرفت. در استانداردهای زیر به دسته بندی مخاطرات محتمل ناشی از تابش اشعه لامپها (کل لامپها نه فقط لامپهای CFL) بر بدن انسان پرداخته شده و با استناد به نتایج تحقیقات و مطالعات پزشکی هشتاد ساله ضمن معرفی شاخصهایی جهت بررسی میزان اشعه بر چشم و پوست انسان به ارائه روابط ریاضی جهت محاسبه شاخصهای مذکور مبادرت گردیده است. البته استاندارد آمریکایی IES در این خصوص پیشگام بوده و مرجع اصلی تهیه استاندارد IEC می باشد، لیکن از آنجا که استاندارد بین المللی IEC مرجع تدوین استانداردهای ملی کشور ما می باشد منبعاست استاندارد مذکور در این گزارش ملاک عمل قرار خواهد گرفت. البته شاخصها و حدود مندرج در هر دو استاندارد کاملاً یکسان هستند.

البته لازم به ذکر است که در این گزارش تنها به بعضی از شاخصهای مندرج در استاندارد که مرتبط با محدوده طول موج منتشر شده از لامپهای CFL هستند پرداخته شده و شاخصهای دیگر که ارتباطی با لامپ CFL پیدا نمی کنند مورد بررسی قرار نمی گیرند.

- ANSI/IESNA RP-27.1-05 : Recommended Practice for Photobiological Safety for lamps and lamp systems-General Requirments
 - ANSI/IESNA RP-27.2-00 : Recommended Practice for Photobiological Safety for lamps and lamp systems- Measurement Techniques
 - ANSI/IESNA RP-27.3-07 : Recommended Practice for Photobiological Safety for lamps and lamp systems- Risk Group Classification and Labeling
- _ IEC62471/2006-07: Photobiological Safety of lamps and lamp systems

۲-۲- آثار جانبی تشعشع نور لامپ بر بدن

مطالعه فعل و انفعالات سیستم های بیولوژیکی به تناسب انرژی تابشی غیر یونیزه اشعه فرابنفش (UV), نور مرئی و پرتو مادون قرمز (IR) طیف الکترومغناطیسی تحت عنوان مطالعات فتوبیولوژی^۱ شناخته می شود. پاسخهای فتوبیولوژیکی در اثر تغییرات فیزیکی و شیمیایی اعمال شده از طریق جذب اشعه توسط مولکول هایی خاص در ارگانهای زنده نتیجه می شوند. فرآیند جذب اشعه منجر به پیدایش وضعیت برانگیختگی الکترونیکی در مولکول ها شده که به نوبه خود سبب بوجود آمدن واکنش های فتوشیمیایی در فرآیندهای فتوبیولوژیکی خواهد شد. وجه تمایز واکنش های فتوشیمیایی در این نکته است که در این فرآیندها انرژی فعال سازی از طریق جذب فوتون های غیر یونیزه فراهم آمده و لذا واکنشها در دمای پایینتری صورت می گیرند.

چنانچه پیش از این نیز اشاره شد، اشعه فرابنفش، یکی از پرتوهای غیر یونیزه طیف الکترومغناطیسی می باشد که طول موجی مابین ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر دارد. طول موجهای کمتر از ۱۰۰ نانومتر غالباً به عنوان مرز میان

¹ Photobiology

طیف تابشی یونیزه و غیر یونیزه در نظر گرفته می‌شوند. پرتو فرابنفش به سه محدوده UVA (۳۱۵-۴۰۰ نانومتر)، UVB (۲۸۰-۳۱۵ نانومتر)، UVC (۲۸۰-۱۰۰ نانومتر) تقسیم می‌شود. بسیاری از منابع مصنوعی اشعه فرابنفش، به استثنای لیزرها، طیف فرابنفش پیوسته‌ای را منتشر می‌کنند. این منابع شامل انواع لامپهای مورد استفاده در فرآیندهای پزشکی، صنعتی، تجاری، تحقیقاتی و خانگی می‌باشند که لامپ کم مصرف CFL نیز در این دسته قرار می‌گیرد.

از آنجا که اشعه فرابنفش معمولاً بر روی سطح قابل جذب است، می‌توان آن را بعنوان پرتو تابشی بصورت خارج قسمت انرژی اشعه UV بر منطقه‌ای از سطح که اشعه بر آن تابیده است بر مبنای J/m^2 اندازه گیری نمود. شایان ذکر است این اشعه بصورت خارج قسمت توان بر سطحی که اشعه بر آن تابیده است نیز بر مبنای W/m^2 توصیف می‌شود. تأثیرات بیولوژیکی اشعه فرابنفش در تناسب با طول موجی است که توسط منبع تابیده می‌شود، لذا برای محاسبه مخاطره احتمالی می‌بایست اطلاعاتی در مورد طیف تابشی (محدوده طول موج) در اختیار داشت. این اطلاعات شامل اندازه‌های توان پرتو تشعشعی طیف منبع بر حسب W/m^2nm می‌باشد. لازم به ذکر است توان تشعشعی کل (W/m^2) از طریق محاسبه مجموع برای تمامی طول موج‌های تابش شده حاصل خواهد شد.

همانطور که می‌دانیم، محدوده طول موج نور مرئی به دو مرز پرتو فرابنفش و اشعه مادون قرمز ختم شده و حاوی طول موج‌های مابین بازه ۴۰۰ تا ۷۸۰ نانومتر است. گزارش‌ها حاکی از این واقعیت‌اند که طول موج اشعه منتشر شده از طریق لامپهای کم مصرف CFL محدوده طول موج‌های فرابنفش و نور مرئی را شامل می‌شود و میزان تشعشع پرتو مادون قرمز از طریق این لامپها بسیار ناچیز و قابل صرف نظر است. در ادامه ضمن ارائه جدول (۲-۱)، به بررسی تفصیلی آسیب‌های احتمالی تشعشع لامپهای CFL بر ارگان‌های حیاتی بدن شامل چشم و پوست پرداخته خواهد شد.



سازمان پژوهشی ایران
(نابا)

تأثیر مخرب بر روی	فرابنفش (۴۰۰-۱۰۰ nm)	مرئی (۷۸۰-۴۰۰ nm)
چشم	سوختگی قرنیه ^۱	جراحت بینایی شبکیه ^۲ (در چشم‌های با عدسی سالم)
	جراحت بینایی شبکیه (در چشم‌های با عدسی آسیب دیده)	آسیب حرارتی شبکیه ^۳
	آب مروارید در نتیجه تشعشع فرابنفش ^۴	
پوست	التهاب پوستی در نتیجه تشعشع فرابنفش ^۵	

جدول (۱-۲): تأثیرات فیزیولوژیکی پرتوهای فرابنفش و نور مرئی بر چشم و پوست.

۱-۲-۲- آثار نامطلوب تشعشع نور لامپ برای چشم

به طور کلی سه فاکتور عمده در بررسی عوامل پیدایش آثار مخرب تابش نوری بر بافت چشم مورد بررسی قرار می‌گیرند که عبارتند از:

- امکان دست‌یابی و نفوذ طول موجی خاص به بافت مورد نظر
- امکان جذب طول موج خاص
- قابلیت مقاومت و تحمل بافت مورد نظر در برابر انرژی جذب شده.

برای دستیابی به تقسیم‌بندی دقیقی از آسیب‌های احتمالی اشعه لامپهای CFL، طول موج تابش این لامپها به دو محدوده فرابنفش (۴۰۰-۱۰۰ nm) و مرئی (۷۸۰-۴۰۰ nm) تقسیم شده و آسیب‌های احتمالی تحت این

¹ Photokeratitis
² Photoretinitis
³ Retinal Thermal Injury
⁴ Ultraviolet Cataract
⁵ Ultraviolet Erythema

دو عنوان مورد بررسی قرار می‌گیرد. مخاطرات در محدوده فرابنفش خود به دو بخش مخاطرات قرنیه ای و مخاطرات شبکیه ای تقسیم می‌شود.

۲-۱-۱-۲- آثار تشعشع فرابنفش بر چشم

چنانچه در جدول (۱-۲) مشاهده می‌شود، مطابق استاندارد IEC 62471، این اثرات شامل سوختگی قرنیه، جراحت بینایی شبکیه و آب مروارید می‌باشد که در ادامه به شرح هر یک پرداخته شده است.

• سوختگی قرنیه _ این پدیده در نتیجه تأثیر پرتو فرابنفش با طول موجی در محدوده (۲۰۰nm-۲۰۰nm-)

(۱۸۰ تا (۴۰۰-۴۲۰nm) علی‌الخصوص ۲۰۰ تا ۳۲۰ نانومتر، بر روی قرنیه چشم بوجود می‌آید و بیشترین تأثیر سوء را در طول موج تابشی ۲۷۰ نانومتر بر جای می‌گذارد. نتایج به دست آمده حاصل از آزمایشات صورت گرفته در لابراتوارهای مختلف بر روی خرگوش (تحت تشعشع با طول موج ۲۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر)، میمون (تحت تشعشع با طول موج ۲۰۰ تا ۳۲۰ نانومتر) و انسان (تحت تشعشع با طول موج ۲۰۰ تا ۳۰۰ نانومتر) می‌باشد. زمان مشاهده واکنش درخور توجه از طرف قرنیه به تناسب زمان مواجهه با اشعه، مابین ۴ تا ۱۲ ساعت طول می‌کشد. مدت زمان سپری شده بسته به میزان تفاوت میان حد مواجهه و آستانه تحمل متفاوت است به این معنا که واکنش در مواجهه‌های با شدت بالا، در زمانی کوتاهتر حاصل می‌شود. مکانیزم واکنش از نوع فتوشیمیایی است که زنجیره ای از واکنش‌های فتوئیولوژیکی را در پی دارد. از جمله علائم بروز ناهنجاری در چشم می‌توان به احساس شرایطی مشابه وارد شدن شن و ماسه به چشم، انقباض غیر ارادی چشم (ناگهانی، شدید، جمع شدن غیر ارادی ماهیچه‌های پلک)، تارشدن دید و دشواری پلک زدن اشاره کرد.

• **جراحی بینایی شبکیه** _ این پدیده در چشم هایی که به هر دلیل فاقد عدسی می باشند در نتیجه تأثیر پرتو نور با طول موجی در محدوده ۳۱۰ تا ۷۰۰ نانومتر علی الخصوص ۳۱۰ تا ۵۰۰ نانومتر، بر روی شبکیه چشم بوجود می آید و بیش ترین تأثیر سوء را در طول موج تابشی ۳۱۰ نانومتر بر جای می گذارد. نتایج به دست آمده حاصل از آزمایشات صورت گرفته در لابراتوارهای مختلف بر روی میمون و انسان تحت تشعشع با طول موج لیزری مورد استفاده در کاربردهای پزشکی و یا رؤیت تصادفی نور خورشید و پرتو قوس های جوشکاری می باشد. چنانچه زمان مواجهه تنها کمی بیش از ۱۰ ثانیه به درازا بیانجامد، زمان مشاهده واکنش درخور توجه از طرف شبکیه تا ۱۲ ساعت بعد طول خواهد کشید. مدت زمان سپری شده بسته به میزان تفاوت میان حد مواجهه و آستانه تحمل متفاوت است به این معنا که واکنش در مواجهه های با شدت بالا، در زمانی کوتاه تر حاصل می شود. مکانیزم واکنش از نوع فتوشیمیایی است که زنجیره ای از واکنش های فتوبیولوژیکی را علی الخصوص در بخش حاوی ماده رنگی (رنگدانه) شبکیه در پی دارد. از جمله علائم بروز ناهنجاری در چشم می توان به احساس نقطه ای کور و یا لکه ای در میدان دید، بروز جراحی در شبکیه و کاهش ماندگار میزان دید اشاره کرد.

• **آب مروارید در نتیجه تشعشع فرابنفش** _ این پدیده در نتیجه تأثیر پرتو فرابنفش با طول موجی در محدوده ۲۹۰ تا ۳۲۵ و در برخی موارد تا ۴۰۰ نانومتر، بر روی عدسی چشم بوجود آمده و بیشترین تأثیر سوء را در طول موج تابشی ۳۰۵ نانومتر بر جای می گذارد. نتایج به دست آمده حاصل از آزمایشات صورت گرفته در لابراتوارهای مختلف بر روی خرگوش و میمون حاکی از آستانه بحرانی تشعشع با طول موج ۲۹۵ تا ۳۲۵ نانومتر می باشد. این همه در حالی است که حد مشخصی برای آستانه بحرانی بروز آب مروارید در انسان گزارش نشده است اما شواهدی بر اثرات

شدید تابش در محدوده UV-B گزارش شده است. بروز تار شدن عدسی چشم به تناسب میزان مواجهه با اشعه، ۴ ساعت و یا بیشتر به درازا می‌انجامد؛ مدت زمان سپری شده بسته به میزان تفاوت میان حد مواجهه و آستانه تحمل متفاوت است به این معنا که واکنش در مواجهه‌های با شدت بالا، در زمانی کوتاه‌تر حاصل می‌شود. مکانیزم واکنش از نوع فتوشیمیایی است. از جمله علائم بروز ناهنجاری در چشم می‌توان به تار شدن دید اشاره کرد.

۲-۱-۲-۲- اثرات نامطلوب نور مرئی بر چشم

چنانچه در جدول (۱-۲) مشاهده می‌شود، مطابق استاندارد IEC62471 اثرات تابش نور مرئی شامل جراحت بینایی شبکیه و آسیب حرارتی شبکیه می‌باشد که در ادامه به شرح هر یک پرداخته خواهد شد.

- **جراحت بینایی شبکیه** _ این پدیده در چشم سالم، در نتیجه تأثیر پرتو نور با طول موجی در محدوده ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر علی‌الخصوص ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر، بر روی شبکیه چشم بوجود می‌آید و بیش‌ترین تأثیر سوء را در طول موج تابشی ۴۴۵ نانومتر بر جای می‌گذارد. نتایج به دست آمده حاصل از آزمایشات صورت گرفته در لابراتوارهای مختلف بر روی میمون و انسان تحت تشعشع با طول موج لیزری مورد استفاده در کاربردهای پزشکی و یا رؤیت تصادفی نور خورشید و پرتو قوس‌های جوشکاری می‌باشد. چنانچه زمان مواجهه تنها کمی بیش از ۱۰ ثانیه به درازا بیانجامد، زمان مشاهده واکنش درخور توجه از طرف شبکیه تا ۱۲ ساعت بعد طول خواهد کشید. مدت زمان سپری شده بسته به میزان تفاوت میان حد مواجهه و آستانه تحمل متفاوت است به این معنا که واکنش در مواجهه‌های با شدت بالا، در زمانی کوتاه‌تر حاصل می‌شود. مکانیزم واکنش از نوع فتوشیمیایی است که زنجیره‌ای از واکنش‌های فتوئولوژیکی را علی‌الخصوص در بخش حاوی

ماده رنگی (رنگدانه) شبکه در پی دارد. از جمله علائم بروز ناهنجاری در چشم می توان به احساس نقطه ای کور ویا لکه ای در میدان دید، بروز جراحی در شبکه و کاهش ماندگار میزان دید اشاره کرد.

- **آسیب حرارتی شبکه** _ این پدیده در نتیجه تأثیر پرتو نور با طول موجی در محدوده ۴۰۰ تا ۱۴۰۰ نانومتر علی الخصوص ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر، بر روی شبکه و مشیمیه چشم بوجود می آید و بیش ترین تأثیر سوء را در طول موج تابشی ۵۰۰ نانومتر بر جای می گذارد. اگرچه دانشمندان از طریق آزمایشات صورت گرفته در لابراتوارهای مختلف بر روی خرگوش و میمون توانسته اند به آستانه های بحرانی قابل قبولی از حد تشعشع دست یابند اما داده ها در مورد انسان بسیار محدود می باشد. بروز این پدیده پیش از آسیب فتوشیمیایی شبکه یعنی در زمان مواجهه ای کمتر از ۱۰ ثانیه و یا در طول موج های بیش از ۷۰۰ نانومتر شایع است. در چنین مواردی آسیب حرارتی به تناسب میزان مواجهه طی ۵ دقیقه مشاهده می شود. مکانیزم واکنش از نوع ترموشیمیایی است به گونه ای که ماهیت پروتئین ها و سایر ترکیبات حیاتی سلول ها را از طریق تخریب بافت زنده، تغییر می دهد. از جمله علائم بروز ناهنجاری در چشم می توان به احساس نقطه ای کور ویا لکه ای در میدان دید، بروز جراحی در شبکه از ۵ دقیقه تا ۲۴ ساعت پس از مواجهه و کاهش میزان دید درست بعد از مواجهه اشاره کرد.

۲-۲-۲- آثار تشعشع نور لامپ بر پوست

چنانچه در منابع ذکر شده است، می توان دست کم دو مزیت عمده از تشعشع اشعه UV بر پوست ذکر نمود که شامل حفظ ویتامین D در برابر مواد شیمیایی شکل گرفته بر روی پوست و تثبیت رنگدانه های آن می

باشند. با این وجود لامپهای کم مصرف امروزی به جهت عدم استفاده از منتشرکننده های منشوری، قادر به فیلترسازی پرتو فرابنفش نمی باشند. لذا امکان بروز حساسیت های پوستی علی الخصوص در افراد مبتلا به بیماری های خاص پوستی در اثر مواجهه با تابش حاصل از این لامپها شدت می گیرد. در همین راستا انجمن امراض پوستی بریتانیا از دولت انگلستان خواسته است تا در قانون ممنوعیت استفاده از لامپهای متداول امروزی و جایگزینی آنها با لامپهای فلورسنت تا سال ۲۰۱۱، برای موارد خاص از جمله افراد مبتلا به حساسیت های پوستی تخفیف قائل شود. بروز التهاب پوستی یکی از آثار سوء تشعشع فرابنفش می باشد که در استاندارد IEC62471 نیز مورد بررسی قرار گرفته است؛ در ادامه به شرح این پدیده پرداخته شده است.

• التهاب پوستی در نتیجه تشعشع فرابنفش _ این پدیده در نتیجه تأثیر پرتو فرابنفش با طول

موجی در محدوده (۱۸۰-۲۰۰nm) تا (۴۲۰-۴۰۰nm) علی الخصوص ۲۰۰ تا ۳۲۰ نانومتر، بر روی پوست بوجود آمده و بیش ترین تأثیر سوء را در طول موج تابشی ۲۹۵ نانومتر بر جای می گذارد. نتایج به دست آمده حاصل از آزمایشات صورت گرفته در لابراتوارهای مختلف بر روی انسان حاکی از آستانه بحرانی تشعشع با طول موج ۲۵۴ تا ۴۰۰ نانومتر می باشد. بروز واکنش از طرف پوست به تناسب میزان مواجهه با اشعه، ۴ تا ۱۲ ساعت به درازا می انجامد؛ مدت زمان سپری شده بسته به میزان تفاوت میان حد مواجهه و آستانه تحمل متفاوت است به این معنا که واکنش در مواجهه های با شدت بالا، در زمانی کوتاه تر حاصل می شود. مکانیزم واکنش از نوع فتوشیمیایی است که زنجیره ای از واکنش های فتوپیولوتیکی را در پی دارد. از جمله علائم بروز ناهنجاری در پوست می توان به آفتاب سوختگی و قرمز شدن نقاطی از پوست که تحت تأثیر اشعه بوده اند اشاره کرد.

۲-۲-۳- محدوده های مجاز مواجهه و روابط محاسباتی مجموع تابش طیفی مؤثر به

تفکیک چشم و پوست

استاندارد بین المللی IEC62471 به ارزیابی ایمنی فتوبیولوژیکی لامپها و سیستم های روشنایی می پردازد. این استاندارد، معیاری جهت تعیین حد مواجهه مجاز و کنترل آسیب های فتوبیولوژیکی حاصل از نور تابشی کلیه منابع نوری به استثنای لیزرها در محدوده طول موج تابشی ۲۰۰ تا ۳۰۰۰ نانومتر، ارائه می دهد. با توجه به تأثیرات اشاره شده در دو بخش قبل در رابطه با تابش پرتوهای منتشر شده از لامپها بر چشم و پوست، ارائه روشی مناسب جهت محاسبه مجموع تابش طیفی مؤثر بر اساس محدوده های مجاز مواجهه ضروری به نظر می رسد؛ لذا در این بخش به ارائه روابط محاسباتی و محدوده های مجاز بر مبنای اطلاعات ذکر شده در استاندارد مذکور پرداخته خواهد شد. شایان ذکر است، در اختیار داشتن تعریف درستی از مفاهیم مرتبط، علائم اختصاری و واژه های تخصصی روشنایی بعنوان لازمه نیل به اهداف فوق محسوب می شود که در ادامه شرح مختصری بر این موارد ارائه خواهد شد.

۲-۲-۳-۱- مروری بر مفاهیم، علائم اختصاری و واژه های تخصصی مرتبط با روشنایی و

سامانه لامپها

• **حد تشعشع^۱** _ این مقدار از طریق وزن دهی پرتو تابیده شده بر اساس میزان تابش در طول موجی

خاص به دست می آید و بر اساس واحد J/m^2 بیان می شود.

¹ Actinic Dose

- **زاویه تحت پوشش^۱ (α)** - این زاویه بعنوان زاویه ای که شیء تحت آن رؤیت و یا تصویر می شود، تعریف می گردد. به عبارت دیگر، این زاویه، زاویه دید نسبت به یک منبع مشخص در محل قرارگیری چشم و یا نقطه اندازه گیری بوده و واحد اندازه گیری آن radian است.
- **روزنه باز/بسته^۲** - روزنه ای که نمایانگر منطقه اندازه گیری تابش نوری میانگین است. برای اندازه گیری های اشعه تابیده این روزنه به منزله ورودی کروی کوچکی است که در شکاف ورودی تشعشع سنج^۳ / طیف سنج^۴ تعبیه شده است.
- **مخاطرات تشعشع نور آبی^۵ (BLH)** - این پدیده شامل امکان آسیب دیدگی شبکیه در معرض تشعشع پرتوهای منتشر شده با طول موجهای ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر می باشد. چنانچه زمان مواجهه با این پرتو متجاوز از ۱۰ ثانیه باشد، آسیب حاصل شامل آسیب حرارتی نیز خواهد بود.
- **لامپ موج پیوسته^۶ (CW)** - لامپهایی که برای زمانی بیش از ۰/۲۵ ثانیه بصورت پیوسته نور تولید می کنند در این دسته قرار می گیرند. در استاندارد IEC62471 لامپهای مورد استفاده در مقاصد روشنایی عمومی^۷ (GLS) به عنوان لامپهای با تشعشع پیوسته شناخته می شوند. البته استاندارد مذکور به معرفی و بیان محدوده های مجاز تشعشع برای لامپهای پالسی نیز پرداخته است که موضوع بحث گزارش حاضر نمی باشد.

¹ Angular Subtense

² Aperture/Aperture Stop

³ Radiometer

⁴ Spectroradiometer

⁵ Blue Light Hazard

⁶ Continuous Wave Lamp

⁷ General Lighting Service

- **قرمزی پوست^۱** - قرمز شدن پوست، در نتیجه سوختگی حاصل از تشعشع خورشید و یا پرتوهای نوری مصنوعی حاصل می‌شود.
- **فاصله مواجهه^۲** - نزدیکترین فاصله میان لامپ و یا منابع روشنایی با چشم، بیانگر فاصله مواجهه است. برای لامپهای با قابلیت تشعشع در تمام جهات این فاصله از مرکز فیلامان اندازه‌گیری می‌شود، حال آنکه در لامپهای رفلکتوری فاصله از لبه بیرونی لنز و در نوع بدون لنز از انتهای صفحه رفلکتور، در نظر گرفته می‌شود. واحد اندازه‌گیری این کمیت متر (m) می‌باشد.
- **حد مواجهه^۳ (EL)** - این کمیت مبین حد مجاز مواجهه چشم و یا پوست با پرتو نوری است به گونه‌ای که منجر به بروز هیچ گونه تأثیر بیولوژیکی سوء نشود.
- **حرکت چشم^۴** - چشم سالم، به هنگام تمرکز بر نقطه و یا شی‌ای خاص، حرکاتی تصادفی با فرکانس چند هرتز دارد. حین این حرکات، تصویری از منبع با زاویه تحت پوشش ۰/۱۱ رادیان شکل گرفته و بر روی آن گسترده می‌شود. چنانچه بیش از ۱۰۰ ثانیه از زمان تمرکز بگذرد، توانایی تمرکز چشم تحلیل رفته و در اثر حرکت چشم توان تشعشعی بر روی شبکه پخش می‌شود.
- **حوزه دید^۵** - زاویه فضایی^۶ رؤیت شده توسط آشکارساز نوری تعیین کننده حوزه دید بوده و واحد اندازه‌گیری این کمیت sr^۷ می‌باشد.

¹ Erythema
² Exposure Distance
³ Exposure Limit
⁴ Eye Movement
⁵ Field of View
⁶ Solid Angle
⁷ Steradian

- **لامپ معمولی^۱** - این دسته از لامپها، شامل انواع لامپهای موجود در بازار با کارکرد متداول از قبیل لامپهای نصب شده در دفاتر، مدارس، کارخانه‌ها، جاده‌ها و یا اتومبیل‌ها می‌باشند. لامپهای به کار رفته در پرتوافکن‌های فیلم، دستگاه‌های فتوکپی نوری، تجهیزات مورد استفاده جهت برنزه کردن پوست، فرآیندهای صنعتی، درمان پزشکی و نورافکن‌ها خارج از این دسته قرار می‌گیرند.
- **فاصله خطر ساز - چنانچه فاصله میان چشم یا پوست با منبع پرتو تابشی کمتر از حد مواجهه گردد، تابش در این منطقه می‌تواند موجبات آسیب چشم و یا پوست را فراهم آورد.**
- **شدت روشنایی^۲** (در یک نقطه از صفحه) - خارج قسمت تغییرات فلوی روشنایی $d\phi_v$ بر سطح شامل نقطه‌ای که شدت روشنایی در آن سنجیده می‌شود dA بیان کننده این کمیت می‌باشد که واحد آن نیز بر حسب lx بیان می‌شود.

$$E_v = \frac{d\phi_v}{dA} \quad (1-2)$$

- **تشعشع مادون قرمز^۳ (IR)** - تشعشع مادون قرمز شامل انتشار نور در محدوده طول موج‌های بالاتر از حوزه نور مرئی می‌باشد. به این ترتیب بازه ۷۸۰ تا 10^6 نانومتر مربوط به پرتو مادون قرمز را به سه بخش IR-A (۷۸۰ تا ۱۴۰۰ نانومتر)، IR-B (۱۴۰۰ تا ۳۰۰۰ نانومتر) و IR-C (۳۰۰۰ تا 10^6 نانومتر) تقسیم می‌کنند.

¹ General Lighting Service (GLS) Lamps

² Illuminance

³ Infrared Radiation

- **استفاده هدفمند^۱** - استفاده از محصولات، فرآیند و یا خدمات مطابق با توصیفات، دستورالعمل‌ها و اطلاعات فراهم آمده توسط تولیدکننده تحت عنوان استفاده هدفمند مطرح می‌شود.

- **اشعه تابیده^۲** (در نقطه‌ای از صفحه) - خارج قسمت تغییرات فلوی تابشی $d\phi$ بر المان سطح شامل نقطه‌ای که در آن اشعه تابیده اندازه‌گیری می‌شود dA بیان کننده این کمیت می‌باشد که واحد آن نیز بر حسب $\frac{W}{m^2}$ بیان می‌شود.

$$E = \frac{d\phi}{dA} \quad (2-2)$$

- **منبع بزرگ^۳** - چنانچه ابعاد تصویر منبع بر روی شبکه بزرگ باشد، جریان گرمای تابشی در جهت تابش از مرکز تصویر به پیرامون بافت بیولوژیکی در مقایسه با جریان گرمای تابشی در جهت محور بسیار کوچک خواهد بود.

- **لومن^۴** - این کمیت بیانگر واحد SI برای اندازه‌گیری فلوی روشنایی است. مقدار نوری که در یک زاویه فضایی توسط یک منبع نور نقطه‌ای یکنواخت تابش می‌شود، شدت نوری برابر با یک کاندلا خواهد داشت؛ این شدت نور برابر است با فلوی روشنایی حاصل از یک پرتو تابشی تک رنگ با فرکانس 540×10^{12} هرتز و فلوی تابشی $1/683$ وات.

¹ Intended Use
² Irradiance
³ Large Source
⁴ Lumen

• **چراغ^۱** - دستگاهی که جهت توزیع، فیلترسازی و انتقال نور تابشی از یک و یا تعداد بیشتری لامپ به کار گرفته می شود و نه تنها شامل لامپها که شامل تمامی بخشهای مورد نیاز جهت تعمیر و حفاظت لامپها و تجهیزات جانبی مدارها جهت اتصال به منبع الکتریکی می شوند. شایان ذکر است ابزار نوردهی و سامانه لامپ اغلب مشابه هم فرض می شوند حال آنکه در ادبیات استاندارد IEC 62471 ابزار نوردهی شامل تمامی تجهیزاتی می شود که جهت توزیع نور در کاربردهای عمومی روشنایی مورد استفاده قرار می گیرند و سامانه لامپ به استفاده از لامپها در کاربردهایی غیر از موارد استفاده عمومی اطلاق می شود.

• **درخشندگی^۲ L_v** (در یک راستای مشخص و یک نقطه خاص از سطحی واقعی و یا مجازی) - این کمیت با استفاده از فرمول زیر تعریف می شود:

$$L_v = \frac{d\varphi_v}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega} \quad (۳-۲)$$

$d\varphi_v$ فلوئی روشنایی است که توسط پرتو نور عبوری از نقطه مورد نظر و انتشار در زاویه فضایی $d\Omega$ در راستای مشخص انتقال می یابد. dA منطقه ای شامل نقطه ای است که پرتو از آن عبور می کند. θ زاویه میان سطح دربرگیرنده نقطه و راستای پرتو عبوری است. این کمیت با واحد cd/m^2 بیان می شود.

¹ Luminaire
² Luminance

- **لوکس^۱** - این کمیت مبین واحد SI برای شدت روشنایی است و میزان روشنایی تولید شده بر روی سطحی به ابعاد یک متر مربع با فلوی روشنایی یک لومن را که به طور یکنواخت بر روی سطح توزیع شده باشد نشان می‌دهد.
- **فاصله مجاز برای چشم^۲** - فاصله از منبع تابش به گونه‌ای که اشعه تابیده و یا درخشندگی از حد مجاز مواجهه تجاوز نکند.
- **تابش نوری^۳** - تابش الکترومغناطیسی در محدوده‌ی میان اشعه‌ی ایکس (با طول موج یک نانومتر) و امواج رادیویی (با طول موج 10^6 نانومتر) را تابش نوری گویند. تابش فرابنفش در محدوده‌ی طول موجهای زیر ۱۸۰ نانومتر (UV فشرده) اغلب توسط اکسیژن موجود در هوا جذب می‌شود؛ لذا حد پایین تابش نوری در این استاندارد برابر با ۲۰۰ نانومتر در نظر گرفته شده است. از طرف دیگر در چشم، تابش نوری مابین ۳۸۰ تا ۱۴۰۰ نانومتر به شبکه‌ی منتقل می‌شود. به این ترتیب محدوده‌ی تابشی یاد شده نیازمند بررسی دقیق از نظر ایمنی فتوبیولوژیکی بر روی شبکه‌ی است.
- **لامپ ضربه‌ای^۴** - نوعی از لامپها که انرژی را به شکل تک ضربه (پالس) و یا قطار ضربه ارائه می‌کنند، به طوری که هر ضربه زمانی کمتر از ۰/۲۵ ثانیه به خود اختصاص می‌دهد. در این استاندارد، اغلب لامپها از نوع پیوسته در نظر گرفته شده‌اند.
- **درخشندگی تابشی^۱ L** (در یک راستای مشخص و نقطه‌ای خاص از سطح واقعی و یا مجازی) - این کمیت با استفاده از فرمول زیر توصیف می‌شود:

¹ Lux

² Ocular Hazard Distance

³ Optical Radiation

⁴ Pulsed Lamp

$$L = \frac{d\phi}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega} \quad (4-2)$$

$d\phi$ بیان‌کننده توان (فلو) تابشی انتقال یافته از طریق پرتو عبوری از نقطه‌ای خاص و منتشر شده در

زاویه فضایی $d\Omega$ شامل راستایی مشخص می‌باشد. dA منطقه‌ای شامل نقطه‌ای است که پرتو از آن

می‌گذرد. θ زاویه میان خط عمود بر سطح و راستای پرتو نور عبوری است. این کمیت با واحد

$W/m^2 \cdot sr^1$ بیان می‌شود.

- **انرژی تابشی^۲** - انتگرال زمانی توان تابشی ϕ در بازه زمانی خاص Δt ، انرژی تابشی را حاصل می‌کند. واحد این کمیت، ژول است.

$$Q = \int_0^t \phi \cdot dt \quad (5-2)$$

- **حد مواجهه تابشی^۳** (در نقطه‌ای از سطح و برای یک راستای مشخص) - عبارت است از خارج

قسمت انرژی تابشی dQ برالمان سطح شامل نقطه موردنظر dA . شایان ذکر است واحد این کمیت

J/m^2 می‌باشد.

$$H = \frac{dQ}{dA} \quad (6-2)$$

درعین حال حد مواجهه تابشی را می‌توان با انتگرال‌گیری از میزان روشنایی^۴ E برای نقطه‌ای از

صفحه و در طول زمان Δt محاسبه کرد.

¹ Radiance

² Radiant Energy

³ Radiant Exposure

⁴ Irradiance

- **توان تابشی^۱ φ** - توان انتشار یافته، منتقل شده و یا دریافتی به صورت تابشی را توان تابشی گویند. این توان اغلب به عنوان فلوی تابشی شناخته می شود و واحد آن وات است.
- **توزیع طیفی^۲** - خارج قسمت مقدار فوتون، حد روشنایی و یا تابش $dX(\lambda)$ بر تغییرات کوچک طول موج در طول موجی خاص، توزیع طیفی را بصورت زیر حاصل می کند.

$$X_{\lambda} = \frac{dX(\lambda)}{d\lambda} \quad (۷-۲)$$

واحد این کمیت $[X]/nm$ است. شایان ذکر است توزیع طیفی به هنگام بررسی تابع $X_{\lambda}(\lambda)$ بر روی بازه وسیعی از تغییرات طول موج و نه تنها در طول موجی خاص مدنظر قرار می گیرد.

- **روشنایی طیفی^۳** - خارج قسمت توان تابشی $d\varphi(\lambda)$ بر تغییرات بازه ای طول موج $d\lambda$ در المان خاصی از صفحه dA روشنایی طیفی را حاصل خواهد کرد؛ واحد این کمیت $w/m^2.nm$ است.

$$E_{\lambda} = \frac{d\varphi(\lambda)}{dA.d\lambda} \quad (۸-۲)$$

- **درخشندگی طیفی^۴ L_{λ}** (برای بازه طول موج $d\lambda$ راستایی مشخص و نقطه ای خاص) - نسبت توان تابشی $d\varphi(\lambda)$ عبوری از نقطه موردنظر و منتشر شده در زاویه فضایی $d\Omega$ در راستایی مشخص بر حاصل ضرب بازه تغییرات طول موج $d\lambda$ و تغییرات زاویه فضایی $d\Omega$ و تصویر راستای تابش بر سطح حاوی نقطه موردنظر $(\cos\theta.dA)$. واحد این کمیت $w/m^2.nm.sr$ است.

¹ Radiant Power
² Spectral Distribution
³ Spectral Irradiance
⁴ Spectral Radiance

$$L_{\lambda} = \frac{d\varphi(\lambda)}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega \cdot d\lambda} \quad (9-2)$$

• **استرادیان^۱ sr** - واحد زاویه فضایی است و مساحت قسمتی از کره که به زاویه فضایی یک

استرادیان محدوده می شود معادل سطح مربعی است که ضلعش برابر شعاع کره باشد.

۲-۲-۳-۲- حدود مجاز مواجهه

حد مجاز مواجهه توصیف کننده شرایطی می باشد که تحت آن تشعشع و تأثیر نور بر چشم و سایر ارگانهای

حیاتی هیچگونه اثر سوئی از خود باقی نگذارد. در استاندارد بین المللی IEC62471 زمانهای مواجهه از ۰/۱

میلی ثانیه تا ۸ ساعت در نظر گرفته شده است که بعنوان زمان استاندارد در کنترل مواجهه به کار گرفته

می شود. در این استاندارد، همچنین از دو عامل قطر مردمک و زاویه تحت پوشش منبع و حوزه دید

اندازه گیری به عنوان عوامل دخیل در تعیین حدود مجاز مواجهه برای شبکه یاد شده است.

همان طور که می دانیم فلوی تابشی ورودی به چشم و جذب شده توسط شبکه (در محدوده ۳۸۰ تا ۱۴۰۰

نانومتر) متناسب با قطر مردمک می باشد. قطر مردمک از مقدار ۷ میلی متر در درخشندگی های پائین (کمتر از

0.1 cd/m^2) تا ۲ میلی متر در مقادیر بالای درخشندگی (تا 10000 cd/m^2) کاهش می یابد. ضعف بینایی

به شرایطی اطلاق می شود که بیشینه درخشندگی قابل تحمل توسط چشم (در حوزه دید دایروی با زاویه

۰/۱۱ رادیان) کمتر از 10 cd/m^2 باشد. به این ترتیب جهت تعیین حدود مجاز مواجهه، دو قطر متفاوت برای

مردمک به عنوان مقادیر استاندارد مفروض است:

¹ Steradian

- چنانچه درخشندگی منبع به اندازه کافی بالا باشد (بیش از 10 cd/m^2) و زمان مواجهه نیز بیش از $0/25$ ثانیه باشد (در آسیب نور آبی و یا آسیب حرارتی شبکه‌ای) قطر 3 میلی‌متری مردمک (مساحت 7 mm^2) به عنوان حد مواجهه در نظر گرفته می‌شود.
 - اگر درخشندگی منبع پائین باشد (بعنوان مثال در تابش مادون قرمز) قطر 7 میلی‌متری مردمک (مساحت $38/5$ میلی متر مربع) به عنوان حد مواجهه مفروض است. شایان ذکر است این مقدار برای آسیب‌های فتوبیولوژیکی حاصل از منابع ضربه‌ای و یا مدت زمان مواجهه کمتر از $0/25$ ثانیه در نظر گرفته می‌شود.
 - برای مواردی که یک منبع مادون قرمز نزدیک با سطح روشنایی بالا مدنظر است، قطر 3 میلی‌متری مردمک به عنوان حد مجاز مواجهه در نظر گرفته می‌شود که این مقدار را می‌توان تا مربع نسبت دو مقدار استاندارد ذکر شده $5/5 = (3 \div 7)^2$ نیز افزایش داد.
- عامل مهم دیگر برای تعیین حدود مجاز مواجهه آسیب حرارتی شبکه‌ای و نور آبی، دسترسی به اطلاعات کافی از منطقه تحت تشعشع شبکه‌ای است. از آنجا که قرنیه و عدسی چشم، نور منبع را بر روی شبکه‌ای متمرکز می‌کنند، بهترین روش جهت توصیف منطقه تحت تشعشع یافتن ارتباط آن با زاویه تحت پوشش منبع (α) می‌باشد. به جهت محدودیت‌های فیزیکی چشم، کوچکترین تصویری که بر روی شبکه‌ای یک چشم سالم شکل می‌گیرد به زاویه‌ای توصیف شده با α_{\min} محدود می‌شود. در استاندارد مذکور، α_{\min} برابر با $0/017$ رادیان فرض شده است. به این ترتیب اندازه‌گیری پرتو تابشی از منابع نوری اعم از منابع ضربه‌ای و یا موج پیوسته با امکان تأثیر سوء بر شبکه‌ای در $0/25$ ثانیه، با استفاده از مقدار $0/017$ رادیان برای حوزه دید، صورت می‌گیرد.

برای زمانهای بیش از ۰/۲۵ ثانیه، حرکات سریع چشم موجب پیدایش تصویر منبع بر شبکه با زاویه بزرگتر α_{eff} می شوند. برای زمان مواجهه ۱۰ ثانیه ای تصویر یک منبع نقطه ای بر روی شبکه زاویه ای در حدود ۰/۰۱۱ رادیان را پوشش می دهد. لذا زاویه تحت پوشش α_{eff} جهت اندازه گیری اثرات مخرب نور آبی و یا حرارتی بر شبکه در مواجهه ۱۰ ثانیه ای می بایست برابر با ۰/۰۱۱ رادیان باشد. به این ترتیب در راستای برقراری پیوستگی منطقی α_{eff} در فاصله زمانی ۰/۲۵ ثانیه و ۱۰ ثانیه، تغییرات این زاویه را در فاصله α_{min} تا ۰/۰۱۱ رادیان متناسب با مجذور زمان فرض می کنیم، به عبارت دیگر α_{eff} به صورت نسبتی از $\alpha_{min} \cdot t^{1/5}$ و یا به عنوان $\alpha_{eff} = \alpha_{min} \cdot \sqrt[5]{(t/0.25)}$ تعریف می شود. از آنجا که داده های کمی جهت تأیید صحت این روابط موجودند، به کارگیری آنها می بایست با تأمل بیشتری صورت گیرد. چنانچه تابش منبع در مقادیر مشخص ۰/۲۵ ثانیه و یا ۱۰ ثانیه مدنظر باشد، می توان از وابستگی زمانی صرف نظر نمود.

برای آسیب نور آبی، در زمان های مواجهه بیش از ۱۰۰ ثانیه، بر اثر پدیده حرکت چشم، منطقه تحت تابش بر روی شبکه گسترده شده و حوزه بزرگتری را تحت پوشش قرار می دهد.

در ادامه، به معرفی چند معیار در راستای بررسی حدود مجاز مواجهه برای چشم و پوست پرداخته می شود.

• **حد مجاز مواجهه پرتو UV برای چشم و پوست - حد مجاز مواجهه برای چشم و پوست**
محافظت نشده در برابر اشعه فرابنفش، در یک دوره هشت ساعته بیان می گردد. در چنین شرایطی حد مجاز تابش عبارت از 30 J/m^2 است. به این ترتیب، جهت محافظت از چشم و پوست در برابر پرتو فرابنفش تولید شده توسط یک منبع نورانی، تابش طیفی مؤثر E_s نباید از حد زیر تجاوز کند.

$$E_s \cdot t = \sum_{200}^{400} \sum_t E_\lambda(\lambda, t) \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 30 \text{ J/m}^2 \quad (10-2)$$

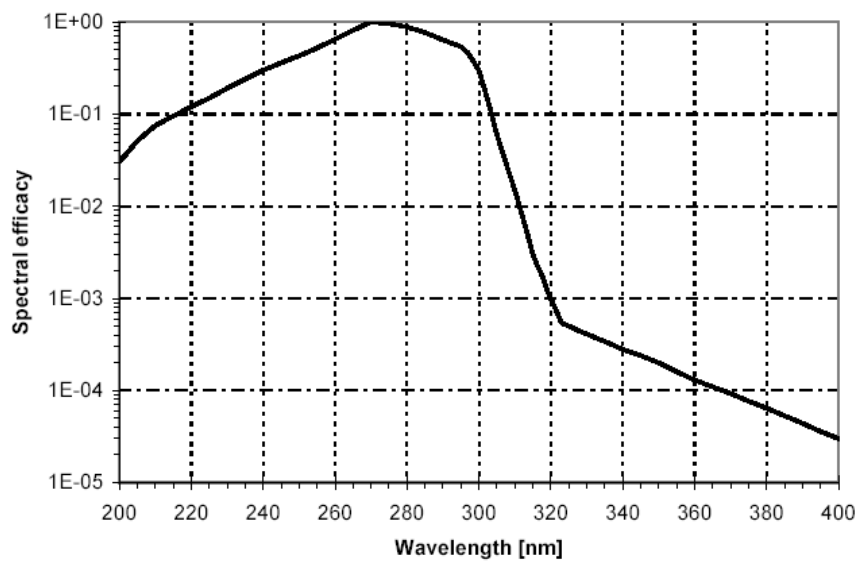
به طوری که $E_{\lambda}(\lambda, t)$ بیانگر توان تابشی طیفی با واحد $W/m^2 \cdot nm$ ، $S_{UV}(\lambda)$ تابع وزن دهی اثر مضر پرتو فرابنفش، $\Delta\lambda$ پهنای باند بر حسب نانومتر و t زمان مواجهه بر حسب ثانیه می باشند.

تابع وزن دهی $S_{UV}(\lambda)$ در شکل (۱-۲) نمایش داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، این تابع به صورت لگاریتمی بر حسب طول موج رسم شده است. مقادیر تابع وزنی نیز در جدول (۲-۲) ذکر شده اند. شایان ذکر است این مقادیر برای طول موجهای خاصی به دست آمده اند و لذا دستیابی به سایر مقادیر وزنی از طریق درون یابی لگاریتمی امکان پذیر است.

بر اساس روابط فوق، زمان مجاز مواجهه با پرتو فرابنفش برای چشم و یا پوست محافظت نشده به صورت زیر محاسبه می شود:

$$t_{\max} = 30/E_s \quad (11-2)$$

به طوری که t_{\max} زمان مجاز مواجهه بر حسب ثانیه و E_s توان تابشی فرابنفش مؤثر بر حسب W/m^2 می باشند.



شکل (۱-۲): تابع وزن دهی طیفی $S_{UV}(\lambda)$ نمایانگر اثرات پرتو فرابنفش بر چشم و پوست

جدول (۲-۲): تابع وزن‌دهی طیفی $S_{UV}(\lambda)$ نمایانگر میزان تأثیر پرتو فرابنفش بر چشم و پوست

Wavelength ¹ λ , nm	UV hazard function $S_{UV}(\lambda)$	Wavelength λ , nm	UV hazard function $S_{UV}(\lambda)$
200	0,030	313*	0,006
205	0,051	315	0,003
210	0,075	316	0,0024
215	0,095	317	0,0020
220	0,120	318	0,0016
225	0,150	319	0,0012
230	0,190	320	0,0010
235	0,240	322	0,00067
240	0,300	323	0,00054
245	0,360	325	0,00050
250	0,430	328	0,00044
254*	0,500	330	0,00041
255	0,520	333*	0,00037
260	0,650	335	0,00034
265	0,810	340	0,00028
270	1,000	345	0,00024
275	0,960	350	0,00020
280*	0,880	355	0,00016
285	0,770	360	0,00013
290	0,640	365*	0,00011
295	0,540	370	0,000093
297*	0,460	375	0,000077
300	0,300	380	0,000064
303*	0,120	385	0,000053
305	0,060	390	0,000044
308	0,026	395	0,000036
310	0,015	400	0,000030

¹ Wavelengths chosen are representative: other values should be obtained by logarithmic interpolation at intermediate wavelengths.

* Emission lines of a mercury discharge spectrum.

• حد مجاز مواجهه UV نزدیک^۱ برای چشم - بر اساس استاندارد IEC 62471، برای بازه طیفی

۳۱۵ تا ۴۰۰ نانومتر (UV-A) حد مواجهه تابش به چشم نمی بایست از $10000 \frac{J}{m^2}$ برای زمان های

¹ Near-UV

مواجهه کمتر از ۱۰۰۰ ثانیه تجاوز کند. برای زمان های مواجهه بیش از ۱۰۰۰ ثانیه (تقریباً ۱۶ دقیقه) میزان توان تابشی UV بر چشم محافظت نشده، E_{UVA} نباید از 10 W/m^2 تجاوز کند. به این ترتیب خواهیم داشت:

$$E_{UVA}.t = \sum_{315}^{400} \sum_t E_{\lambda}(\lambda, t). \Delta t. \Delta \lambda \leq 10000 \text{ J/m}^2 \quad (t < 1000 \text{ s}) \quad (12-2)$$

$$E_{UVA} \leq 10 \text{ W/m}^2 \quad (t \geq 1000 \text{ s})$$

به طوری که $E_{\lambda}(\lambda, t)$ بیانگر توان تابشی طیفی با واحد $\text{W/m}^2.nm$ ، $\Delta \lambda$ پهنای باند بر حسب نانومتر و t زمان مواجهه بر حسب ثانیه می باشند.

لذا زمان مواجهه با تشعشع فرابنفش برای چشم محافظت نشده و در زمان های کمتر از ۱۰۰۰ ثانیه برابر است با:

$$t_{\max} \leq 10000 / E_{UVA} \quad (13-2)$$

• **حد مجاز مواجهه شبکه با نور آبی - جهت حفاظت شبکه از آسیب فتوشیمیایی حاصل از**

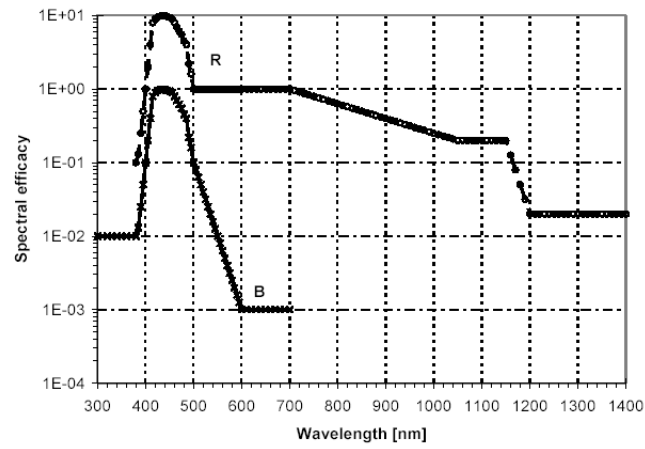
مواجهه با نور آبی، درخشندگی منبع نور بر حسب تابع وزندهی شده $B(\lambda)$ بیان می شود. به این ترتیب، تابش وزندهی شده نور آبی L_B باید از شرایط زیر پیروی کند.

$$L_B.t = \sum_{300}^{700} \sum_t L_{\lambda}(\lambda, t). B(\lambda). \Delta t. \Delta \lambda \leq 10^6 \text{ J/m}^2.sr \quad (t \leq 10^4 \text{ s}) \quad (14-2)$$

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda}. B(\lambda) \leq 100 \text{ W/m}^2.sr \quad (t > 10^4 \text{ s})$$

به طوری که $L_{\lambda}(\lambda, t)$ بیانگر تابش طیفی با واحد $\text{W/m}^2.sr.nm$ ، $B(\lambda)$ تابع وزندهی اثرات مضر تابش نور آبی، $\Delta \lambda$ پهنای باند بر حسب نانومتر و t زمان مواجهه بر حسب ثانیه می باشند.

تابع وزندهی طیفی نور آبی $B(\lambda)$ و تابع وزن دهی آسیب حرارتی شبکه $R(\lambda)$ در شکل (۲-۲) و مقادیر مربوط به هر یک در جدول (۳-۲) ارائه شده اند.



شکل (۲-۲): توابع وزن دهی طیفی برای آسیبهای شبکه

جدول (۲-۳): مقادیر توابع وزن‌دهی طیفی مربوط به آسیب‌های شبکه حاصل از تشعشع

Wavelength nm	Blue-light hazard function $B(\lambda)$	Burn hazard function $R(\lambda)$
300	0,01	
305	0,01	
310	0,01	
315	0,01	
320	0,01	
325	0,01	
330	0,01	
335	0,01	
340	0,01	
345	0,01	
350	0,01	
355	0,01	
360	0,01	
365	0,01	
370	0,01	
375	0,01	
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,10	1,0
405	0,20	2,0
410	0,40	4,0
415	0,80	8,0
420	0,90	9,0
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1,00	10,0
440	1,00	10,0
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,90	9,0
460	0,80	8,0
465	0,70	7,0
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,40	4,0
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500-800	$10^{[(450-\lambda)/50]}$	1,0
600-700	0,001	1,0
700-1050		$10^{[(700-\lambda)/500]}$
1050-1150		0,2
1150-1200		$0,2 \cdot 10^{0,02(1150-\lambda)}$
1200-1400		0,02

لذا زمان مجاز مواجهه شبکه با نور آبی در زمانهای کمتر از ۱۰۰۰۰۰ ثانیه برابر است با:

$$t_{\max} = 10^6 / L_B \quad (۱۵-۲)$$

به طوری که t_{\max} زمان مجاز مواجهه بر حسب ثانیه و L_B تابع وزن‌دهی شده بر حسب اثرات مخرب نور آبی می‌باشند.

• **حد مجاز مواجهه آسیب حرارتی شبکه - جهت حفاظت شبکه از آسیب حرارتی مجموع**

تابش طیفی منبع نور L_λ بر حسب تابع وزن دهی شده $R(\lambda)$ که نمایانگر شدت سوختگی حاصل از تابش می باشد، بیان می شود (شکل (۲-۲) و جدول (۳-۲)). به این ترتیب درخشندگی کلی منبع نباید از حد زیر تجاوز کند:

$$L_R = \sum_{380}^{1400} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 50000 / \alpha \cdot t^{0.25} \quad W/m^2 \cdot sr \quad (10 \mu s < t < 10 s) \quad (۱۶-۲)$$

به طوری که، L_λ بیانگر درخشندگی طیفی با واحد $W/m^2 \cdot sr \cdot nm$ ، $R(\lambda)$ تابع وزن دهی شدت سوختگی در اثر تابش، $\Delta\lambda$ پهنای باند بر حسب نانومتر و α زاویه روشنایی منبع بر حسب رادیان می باشند.

تبصره - L_λ می بایست میانگینی بر روی حوزه دید مخروطی شکل با مقطع دایروی مابین $0/0017$ رادیان و

$0/1$ رادیان داشته باشد.



فصل سوم: رویه آزمون ایمنی فتویولوژیکی لامپهای CFL

۳-۱- وسایل مورد نیاز

- _ دتکتور (آشکارساز) نوری دارای پاسخ فرکانسی هموار در محدوده طول موجهای فرابنفش (از ۲۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر) و نور مرئی (از ۴۰۰ تا ۷۸۰ نانومتر)
- _ اسپکتروراديو متر یا اسپکتروفوتومتر
- _ لوکس متر
- _ لامپ تحت آزمون که قبلاً به مدت ۱۰۰ ساعت Age شده باشد.

۳-۲- روش اندازه گیری طیف توان اشعه (Spectral irradiance)

روش کار در شکل (۳-۱) نشان داده شده است. ترتیب کار بدین صورت است که ابتدا در امتداد محوری که ماکزیمم توان تابشی نور را دارد از منبع نور فاصله گرفته می شود تا لوکس متر عدد ۵۰۰ لوکس را نشان دهد (حداقل فاصله می بایست ۲۰۰ میلی متر باشد) سپس دتکتور در همان فاصله از منبع قرار می گیرد.

صفحه حایلی برای محدود کردن میدان دید در نظر گرفته و در فاصله H (مثلاً ۱۵۰ میلی متر) نسبت به

آشکارساز مطابق شکل قرار می گیرد. قطر آشکارساز $D=25\text{mm}$ باشد. ($H \gg D$)

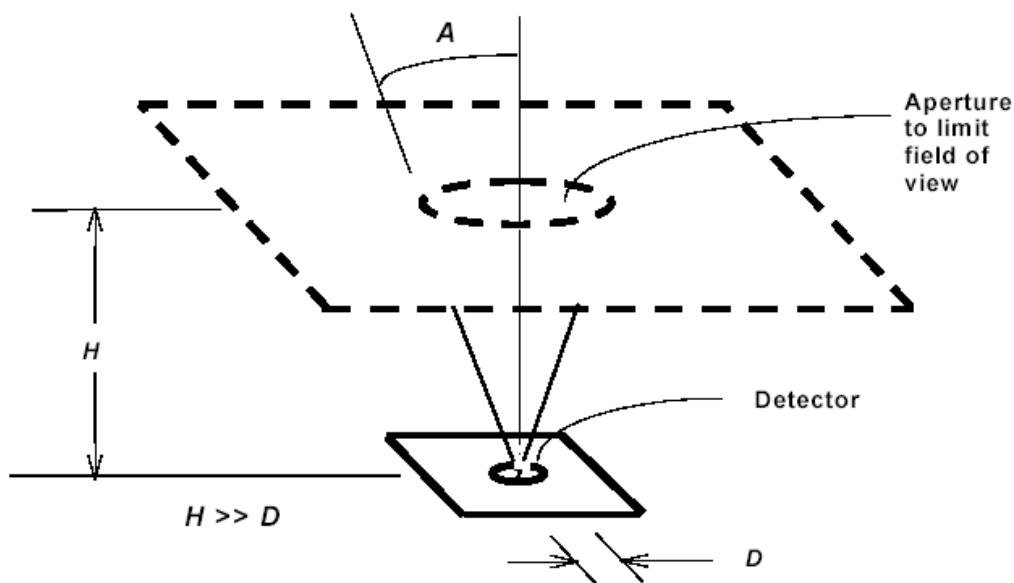
توان تابشی طیفی نور در محدوده ۲۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر با گامهای $\Delta\lambda=1\text{nm}$ و در محدوده ۴۰۰ تا ۷۸۰

نانومتر با گامهای $\Delta\lambda=5\text{nm}$ سنجیده شده و در جدولی مطابق جدول (۳-۱) درج می گردد. (جمعاً

$276=200+76$ اندازه گیری مختلف)

جدول (۱-۳): مقادیر اندازه‌گیری شده E_λ

λ [nm]	۲۰۰-۲۰۱	۲۰۱-۲۰۲	۷۷۵-۷۸۰
$E_\lambda \left[\frac{W}{m^2 \cdot nm} \right]$			



شکل (۱-۳): روش اندازه‌گیری طیف توان تابشی $A=4.0^\circ = 0.07 \text{ rad}$ و $H=150 \text{ mm}$ و $D=250 \text{ mm}$ و

قطر روزنه = ۲۵۰ mm

۳-۳- روش اندازه‌گیری طیف درخشندگی لامپ (Spectral radiance)

۱-۳-۳- تئوری روش

روش اندازه‌گیری طیف درخشندگی لامپ در شکل (۲-۳) نشان داده شده است. این روش جایگزین

روش اندازه‌گیری استاندارد می‌گردد و نسبت به آن آسانتر است.

اگر زاویه دید γ کوچک فرض شود داریم:

$$\tan \gamma = \frac{F}{r} \cong \gamma \quad (1-3)$$

از سوی دیگر اگر Ω عبارت از زاویه فضایی میدان دید (برحسب استرادیان) باشد، رابطه زیر میان آن و زاویه γ برقرار است:

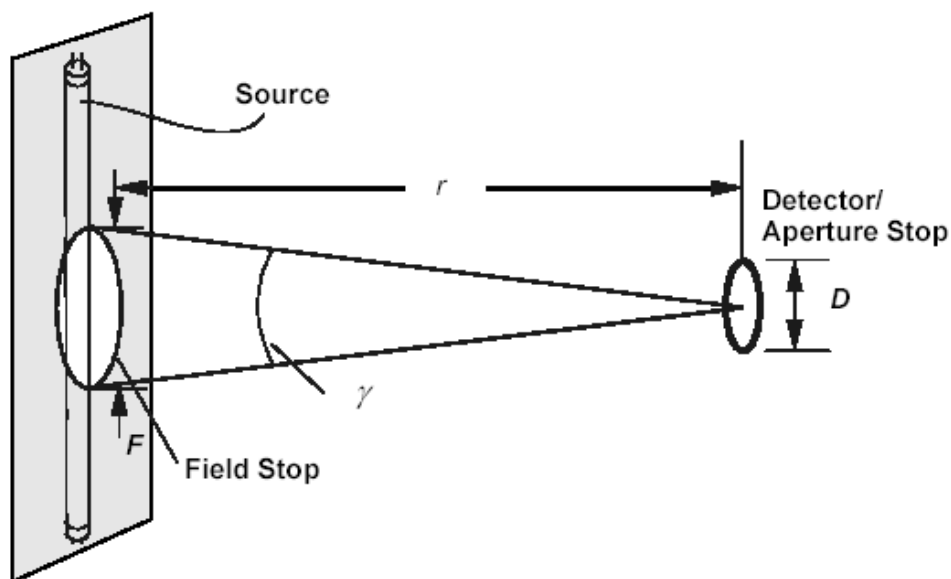
$$\Omega = \frac{\pi \gamma^2}{4} \quad (2-3)$$

بین radiance و irradiance رابطه ساده زیر برقرار است:

$$E = L \cdot \Omega \Rightarrow E = L \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{F^2}{r^2} \quad (3-3)$$

و این رابطه اساس اندازه گیری radiance را به این روش تشکیل می دهد. در صورتی که از این روش برای اندازه گیری طیف درخشندگی استفاده گردد باید دقت کرد که قطر field stop به گونه ای تنظیم شود که:

$$\gamma = \alpha_{eff} \quad (4-3)$$



شکل (۲-۳): روش اندازه گیری طیف درخشندگی

۲-۳-۳- شرح کار

مجدداً مطابق آزمون قبل آشکارساز در فاصله ای از منبع نور قرار داده می شود که شدت روشنایی عبارت از ۵۰۰ لوکس باشد (فاصله r که حداقل آن ۲۰۰ میلی متر است). حال صفحه حایلی به قطر روزنه F به طوری که $F=0.1r$ باشد به طور چسبیده به منبع قرار داده می شود. سپس در محدوده ۳۰۰ تا ۴۰۰ نانومتری با گامهای $\Delta\lambda=1\text{nm}$ و در محدوده ۴۰۰ تا ۷۸۰ نانومتری با گامهای $\Delta\lambda=5\text{nm}$ درخشندگی طیفی منبع نور اندازه گیری شده و در جدولی مطابق جدول (۲-۳) درج می گردد (جمعاً $100+76=176$ اندازه گیری مختلف)

جدول (۲-۳): مقادیر اندازه گیری شده L_λ

$\lambda[\text{nm}]$	۳۰۰-۳۰۱	۳۰۱-۳۰۲	۷۷۵-۷۸۰
$L_\lambda \left[\frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm} \right]$			

آزمون اخیر برای زاویه دید $\gamma=0.011$ ($F=0.011r$) تکرار گردیده و جدول دیگری تشکیل داده می شود.

۲-۳-۴- اندازه گیری زاویه تابش لامپ

زاویه تابش α لامپ توسط یک لوکس متر اندازه گیری می شود (به طوریکه شدت نور محورهای مرزی نصف شدت نور محور ماکزیمم تابش باشد)

۳-۵- تجزیه و تحلیل نتایج اندازه گیری

شاخص های E_S و E_{UVA} و L_B و L_R طبق روابط ریاضی مندرج در جدول (۳-۳) محاسبه می شوند. توابع

وزن دهنده $S_{UV}(\lambda)$ ، $B(\lambda)$ و $R(\lambda)$ در جداول (۳-۴) و (۳-۵) ذکر گردیده اند.

مقادیر بینابینی مورد نیاز که در جداول اخیر ذکر نشده اند از طریق درونیابی لگاریتمی قابل محاسبه

می باشند.

جدول (۳-۳): نحوه رده‌بندی لامپها براساس مخاطرات محتمل و حدود مجاز مواجهه در هر رده

(زوایا بر حسب رادینان ذکر گردیده‌اند)

نوع مخاطره	معادله ریاضی شاخص	واحد شاخص	لامپ بی خطر		لامپ کم خطر		لامپ میان خطر	
			زاویه دید	حد مجاز مواجهه	زاویه دید	حد مجاز مواجهه	زاویه دید	حد مجاز مواجهه
			Actinic UV skin & eye	$E_S = \sum_{200}^{400} E_{\lambda} \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	$\frac{w}{m^2}$	1.4	0.001	1.4
Eye UVA	$E_{UVA} = \sum_{315}^{400} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	$\frac{w}{m^2}$	1.4	10	1.4	33	1.4	100
Retinal Blue light	$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	$\frac{w}{m^2 \cdot sr}$	0.1	100	0.011	10^4	0.0017	$4 \cdot 10^6$
Retinal thermal	$L_R = \sum_{380}^{780} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	$\frac{w}{m^2 \cdot sr}$	0.011	$\frac{28000}{\alpha}$	0.011	$\frac{28000}{\alpha}$	0.0017	$\frac{71000}{\alpha}$

بسته به اینکه شاخصهای مذکور (هر ۴ شاخص) از حدود مجاز مواجهه مندرج در کدام ستون از جدول

(۳-۳) کمتر باشند عناوین لامپ بی خطر، لامپ کم خطر، لامپ میان خطر به آن تعلق می‌گیرد و در صورتی

که حتی یکی از شاخصها بیشتر از حدود مذکور باشد عنوان لامپ پرخطر به آن تعلق خواهد گرفت.

جدول (۳-۴): تابع وزن دهنده $S_{UV}(\lambda)$

Wavelength ¹ λ , nm	UV hazard function $S_{UV}(\lambda)$	Wavelength λ , nm	UV hazard function $S_{UV}(\lambda)$
200	0,030	313*	0,006
205	0,051	315	0,003
210	0,075	316	0,0024
215	0,095	317	0,0020
220	0,120	318	0,0016
225	0,150	319	0,0012
230	0,190	320	0,0010
235	0,240	322	0,00067
240	0,300	323	0,00054
245	0,360	325	0,00050
250	0,430	328	0,00044
254*	0,500	330	0,00041
255	0,520	333*	0,00037
260	0,650	335	0,00034
265	0,810	340	0,00028
270	1,000	345	0,00024
275	0,960	350	0,00020
280*	0,880	355	0,00016
285	0,770	360	0,00013
290	0,640	365*	0,00011
295	0,540	370	0,000093
297*	0,460	375	0,000077
300	0,300	380	0,000064
303*	0,120	385	0,000053
305	0,060	390	0,000044
308	0,026	395	0,000036
310	0,015	400	0,000030

¹ Wavelengths chosen are representative; other values should be obtained by logarithmic interpolation at intermediate wavelengths.

* Emission lines of a mercury discharge spectrum.

جدول (۳-۵): توابع وزن دهنده $B(\lambda)$ و $R(\lambda)$

Wavelength nm	Blue-light hazard function $B(\lambda)$	Burn hazard function $R(\lambda)$
300	0,01	
305	0,01	
310	0,01	
315	0,01	
320	0,01	
325	0,01	
330	0,01	
335	0,01	
340	0,01	
345	0,01	
350	0,01	
355	0,01	
360	0,01	
365	0,01	
370	0,01	
375	0,01	
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,10	1,0
405	0,20	2,0
410	0,40	4,0
415	0,80	8,0
420	0,90	9,0
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1,00	10,0
440	1,00	10,0
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,90	9,0
460	0,80	8,0
465	0,70	7,0
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,40	4,0
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500-600	$10^{[(450-\lambda)/50]}$	1,0
600-700	0,001	1,0
700-1050		$10^{[(700-\lambda)/500]}$
1050-1150		0,2
1150-1200		$0,2 \cdot 10^{0,02(1150-\lambda)}$
1200-1400		0,02

نصب برچسب عنوان لامپ مشتمل بر لامپ بی خطر، لامپ کم خطر، لامپ میان خطر و لامپ پرخطر

روی لامپها ضروری بوده و زمانهای مجاز مواجهه برای مصرف کننده مطابق جدول ۳-۶ می باشد.

جدول (۳-۶): زمان مجاز مواجهه با انواع لامپهای CFL

نوع مخاطره	نوع لامپ		
	بی خطر	کم خطر	میان خطر
Actinic UV Skin & Eye	8 h	10000 S	1000 S
Eye UVA	1000 S	300 S	100 S
Retinal Blue Light	10000 S	100 S	0.25 S
Retinal thermal	10 S	10 S	0.25 S

۳-۶- گزارش آزمون ایمنی انجام شده در آزمایشگاه روشنایی دانشگاه تهران

در این بخش گزارش آزمون تقریبی انجام گرفته در آزمایشگاه روشنایی دانشگاه تهران را که طی آن دو

عدد از شاخصهای ایمنی فتویولوژیکی لامپها که اهمیت بیشتری از بقیه داشتند به طور تقریبی اندازه گیری

شدند تشریح می گردد.

۳-۶-۱- اندازه گیری شاخص E_{UVA} برای چند عدد لامپ نمونه

در این آزمایش چند عدد لامپ نمونه موجود در آزمایشگاه مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج اخذ شده از

این قرار بود.

- لامپ شماره ۱ مهتابی 23w:

$$E_{UVA} = \frac{0.0173 \times 10^{-8}}{6.88 \times 10^{-9}} = 0.025 \frac{W}{m^2}$$

- لامپ شماره ۲ مهتابی 23w:

$$E_{UVA} = \frac{0.0180 \times 10^{-8}}{6.88 \times 10^{-9}} = 0.026 \frac{w}{m^2}$$

• لامپ شماره ۳ مهتابی 23w:

$$E_{UVA} = \frac{0.0180 \times 10^{-8}}{6.88 \times 10^{-9}} = 0.026 \frac{w}{m^2}$$

• لامپ شماره ۴ آفتابی 23w:

$$E_{UVA} = \frac{0.0303 \times 10^{-8}}{6.88 \times 10^{-9}} = 0.044 \frac{w}{m^2}$$

لذا می توان نتیجه گرفت که شاخص دوم استاندارد ایمنی یعنی E_{UVA} تا مقدار مجاز آن (یعنی

$10 \frac{w}{m^2}$) فاصله زیادی داشته و از نظر این شاخص جای نگرانی نیست. برای مقایسه لازم به ذکر است شرکت

OSRAM در کاتالوگ لامپهای خود عدد $E_{UVA} = 0.03 \frac{w}{m^2}$ را ذکر کرده است.

۳-۶-۲- اندازه گیری شاخص E_s

برای اندازه گیری این شاخص نظر به اینکه نیاز به طیف اشعه (یعنی E_λ) جهت اعمال ضرایب وزن دهنده

$S_{UV}(\lambda)$ داریم و کار با دستگاه اسپکترورادایومتر طی روز مراجعه مقدور و ممکن نگردید، لذا از یک روش

تقریبی بدینانه به شرح زیر استفاده شد:

کل محدوده UV را به سه محدوده UVA و UVB و UVC تقسیم نموده و توان اشعه را در هر محدوده

به کمک سنسور مخصوص همان محدوده اندازه گیری نموده و سپس در تابع وزنی ماکزیمم آن محدوده

ضرب نموده و سپس حاصلضربها را با هم جمع می کنیم، یعنی:

$$E_S = \sum_{200}^{400} E_\lambda \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta\lambda = \sum_{200}^{280} E_\lambda \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta\lambda + \sum_{280}^{315} E_\lambda \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta\lambda +$$

$$\sum_{315}^{400} E_\lambda \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta\lambda = 1 \times \sum_{200}^{280} E_\lambda \cdot \Delta\lambda + 0.88 \times \sum_{280}^{315} E_\lambda \cdot \Delta\lambda +$$

$$0.003 \times \sum_{315}^{400} E_\lambda \cdot \Delta\lambda = 1 \times E_{UVC} + 0.88 \times E_{UVB} + 0.003 \times E_{UVA}$$

از طرفی چون کوچکترین رنج (range) دستگاه UV-meter عبارت از ۱ میکروآمپر می باشد که دارای دقت مورد نیاز این آزمون نیست لذا نور را چندین برابر افزایش داده (فاصله را تا منبع کاهش می دهیم) و سپس شاخصهای اندازه گیری شده را به همان نسبت تقسیم می کنیم. مثلاً در این آزمایش اندازه گیری شاخصها را به جای ۵۰۰ لوکس در ۴۵۰۰۰ لوکس (یعنی ۹۰ برابر) انجام داده و اعداد اندازه گیری شده را بر ۹۰ تقسیم کردیم:

$$E_{UVA} = \frac{1.28 \times 10^{-8}}{6.88 \times 10^{-9} \times 90} = 21 \frac{\text{mw}}{\text{m}^2}$$

$$E_{UVB} = \frac{0.0115 \times 10^{-8}}{1.775 \times 10^{-9} \times 90} = 0.72 \frac{\text{mw}}{\text{m}^2}$$

$$E_{UVC} = \frac{0.0001 \times 10^{-8}}{0.768 \times 10^{-9} \times 90} = 0.014 \frac{\text{mw}}{\text{m}^2}$$

$$\Rightarrow E_S = 1 \times 0.014 + 0.88 \times 0.72 + 0.003 \times 21$$

$$= 0.014 + 0.63 + 0.06$$

$$= 0.7 \frac{\text{mw}}{\text{m}^2}$$

همانطور که مشاهده می شود میزان اندازه گیری شده از حد مجاز $1 \frac{\text{mw}}{\text{m}^2}$ که میزان مجاز لامپهای بی خطر

است پایین تر بوده و لذا از نظر شاخص E_S نیز آزمون با موفقیت انجام گرفته است.

بدیهی است در صورتی که دو شاخص دیگر نیز پایین تر از حد مجاز باشند می توان به لامپ مورد نظر

لامپ بی خطر اطلاق نمود. البته نظر به اینکه دو شاخص دیگر به طیف مرئی لامپ مربوط می گردند و موارد



سازمان بهداشتی ایمنی ایران
(سبا)

اتهامی به محدوده فرابنفش مرتبط هستند، لذا با اطمینان بالایی می‌توان حدس زد که دو شاخص دیگر

استاندارد نیز پاس شوند.



فصل چهارم: بررسی تاثیر احتمالی استفاده از

لامپهای CFL بر سیستم عصبی و سایر

ارگانهای بدن

۴-۱- مقدمه

همانطور که پیش از این نیز اشاره شد در سالهای اخیر استفاده همگانی و اجباری از لامپهای کم مصرف با انتقاداتی از سوی محققان و مجامع علمی روبرو شده است. در این فصل به ذکر اجمالی چند اتهام از سوی مجامع معتبرتر در این رابطه پرداخته می شود. مراجع این فصل پایگاه اطلاعاتی "انجمن اقدام علیه میگرن MAA" بریتانیا و "مرکز مطالعات محیط و منابع دانشگاه Trent" کانادا می باشد. البته لازم به ذکر است که هر دوی این مجامع به تازگی درخواستهایی از دولتهای متبوع خود در این رابطه مطرح نموده اند که هنوز در حال تحقیق بوده و تصمیمی در این خصوص اتخاذ نگردیده است.

۴-۲- سردردهای میگرنی

براساس اظهارات انجمن اقدام علیه میگرن^۱ MAA بریتانیا برخی از اعضای این انجمن گزارش داده اند که تحت تأثیر عملکرد لامپهای فلورسنت دچار حملات میگرنی شده اند. با توجه به آنکه انگلستان اولین کشور اروپایی است که تولید لامپهای رشته ای را از سال ۲۰۱۲ ممنوع نموده است، انجمن MAA خواستار لغو این ممنوعیت از سوی دولت گردیده و اجازه خواسته که دولت امکان دهد تا گروهی بتوانند بعد از تاریخ مذکور نیز همچنان اجازه خرید و استفاده از لامپهای معمولی را داشته باشند. این انجمن ادعا کرده است که لامپهایی که از تکنولوژی فلورسنت استفاده می کنند موجب تشدید میگرن برخی اعضا گردیده که یا به دلیل

¹ Migraine Action Association

سوسو زدن این لامپها و یا به دلیل نور کم آنها می‌باشد که باعث خستگی چشم می‌شود. با این وجود انجمن محصولات روشنایی که نماینده سازندگان لامپ است اعلام کرده است که نوع فشرده یا CFL که از بالاست الکترونیکی استفاده می‌کند به دلیل فرکانس سویچینگ بالاتر از 40kHz فاقد مشکل سوسو زدن است. انجمن MAA هنوز پاسخی در این خصوص نداده است و آنگونه که از ظواهر برمی‌آید هنوز هیچ ارتباط معناداری میان استفاده از لامپهای CFL و بروز میگرن به اثبات نرسیده است.

۴-۳- سندروم Irlen

بیماریها و مشکلاتی که در این بخش و بخشهای دیگر تا انتهای فصل چهارم عنوان می‌گردند همگی در قالب دادخواستی از سوی مرکز مطالعات محیط و منابع دانشگاه Trent کانادا خطاب به دولت ارسال گردیده است.

یکی از آسیبهای دیگری که افزایش احتمال وقوع آن در اثر تشعشع لامپهای فلورسنت مطرح شده سندرم Irlen نام دارد. سندرم Irlen که بعنوان سندرم حساسیت به تاریکی^۱ نیز خوانده می‌شود اولین بار در سال ۱۹۸۰ توسط روانشناسی به نام Helen Irlen مطرح شد. اگرچه منشأ اصلی این بیماری هنوز بطور دقیق شناخته نشده است اما در مباحث علمی ریشه اصلی آن را شبکیه چشم و یا بخش بینایی مغز می‌دانند. توانایی خواندن در افراد مبتلا به این ضایعه تحلیل می‌رود. تحقیقات دانشگاه Trent کانادا که طی دادخواستی خطاب به دولت تنظیم گردیده است [8] نشان می‌دهد که نور لامپهای فلورسنت قادر به تشدید بیماری سندرم Irlen بوده و بر روی قدرت خواندن افراد مبتلا تأثیر سوء می‌گذارد.

¹ Scotopic Sensitivity Syndrome

۴- حساسیت الکتریکی

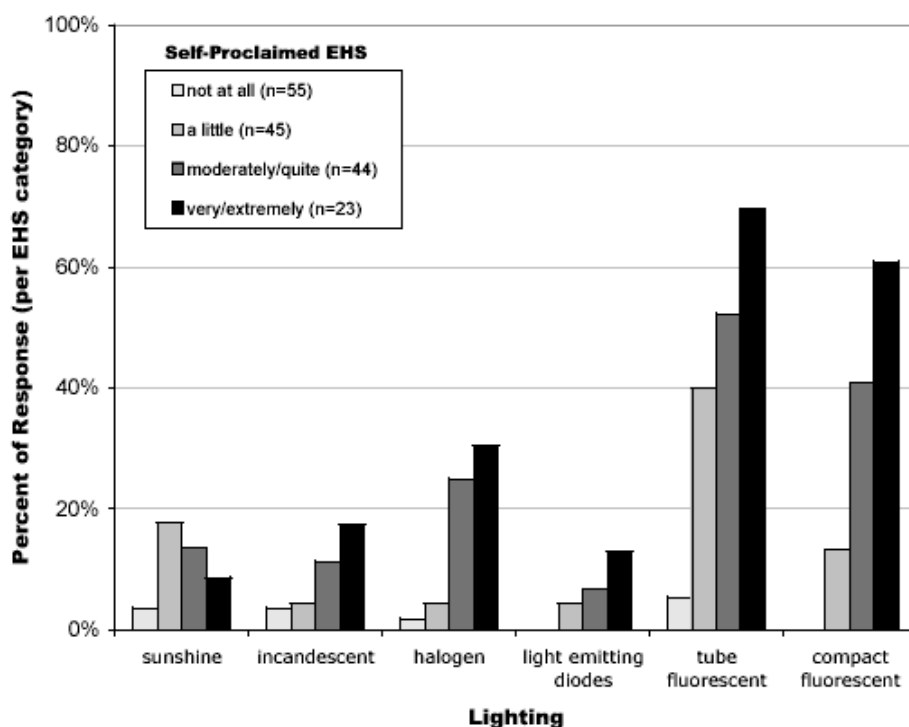
امروزه شاهد رشد نشانه‌هایی از یک بیماری جدید با نام حساسیت الکتریکی^۱ (EHS) در میان جوامع بشری هستیم. بر اساس تعریف انجمن سلامت جهانی^۱ (WHO)، چنانچه مجاورت افراد با تجهیزات حاوی جریان الکتریکی، مغناطیسی و یا الکترومغناطیسی منجر به تأثیرات سوء بر روی سلامتی آنها شود، دچار حساسیت الکتریکی شده‌اند. فرد مبتلا به EHS دچار ضعف و ناتوانی می‌شود. در حال حاضر ۳ درصد از جمعیت سوئد مبتلا به عوارض سخت EHS بوده و ۳۵ درصد از جمعیت این کشور در حد متوسطی از عوارض EHS رنج می‌برند. از این جمله می‌توان به تأثیرات این بیماری بر سیستم عصبی، قلب، دستگاه تنفسی و سایر ارگانها اشاره کرد. جدول (۴-۱) بیانگر اختلالات یاد شده می‌باشد.

جدول (۴-۱): پاره‌ای از اختلالات ناشی از حساسیت الکتریکی (EHS)

سیستم عصبی	قلب	دستگاه تنفسی	سایر ارگان‌ها
سردرد	تپش قلب	سینوزیت	تغییر قند بدن
سرگیجه	بی‌نظمی ضربان	برونشیت	کاهش ایمنی
کاهش تمرکز و حافظه	احساس فشار در سینه	ذات‌الریه	ریزش مو
اضطراب	عدم تعادل فشارخون	تنگی نفس	خشکی لب و گلو
بی‌خوابی			
خستگی			
گرفتگی ماهیچه‌ها			
بی‌حسی			

^۱ Electro Hyper Sensitivity

در همین راستا تحقیقی در زمینه ارزیابی حساسیت الکتریکی افراد به نورهای مختلف ترتیب داده شد [8]. در این تحقیق از افراد خواسته شد تا میزان حساسیت الکتریکی خود را با شرح علائم آن ذکر کنند. شکل (۱-۴) بیانگر نتایج حاصل در مورد سردرد است. چنانچه مشاهده می‌شود بالاترین درصد ایجاد سردرد در این ارزیابی مربوط به تابش لامپهای فلورسنت لوله‌ای می‌باشد و پس از آن لامپهای CFL قرار دارند.



شکل (۱-۴). نتایج حاصل از تحریک حساسیت الکتریکی و بروز سردرد در اثر تابش نور

افرادی که از حساسیت بالا رنج می‌برند، در مواجهه با فرکانسهای الکترومغناطیسی حاصل از لامپهای CFL از سردرد، مشکلات بینایی، خستگی، گیجی، کاهش قدرت تمرکز و حافظه، سرگیجه، کم خوابی و غیره شکایت می‌کنند.

¹ World Health Organization

۴-۵- سرطان

ضعف کیفیت توان شبکه به بروز پدیده‌ای به نام «آلودگی الکتریکی»^۱ منجر می‌شود. این پدیده بیانگر اثرات کیفیت توان الکتریکی بر سلامت انسان است. اختلال کیفیت توان شامل پدیده‌های مختلفی از قبیل افت ولتاژ، عدم تعادل فاز، افزایش ناگهانی ولتاژ، اختلالات گذرا، وقفه‌های لحظه‌ای و اعوجاج شکل موج می‌باشد.

لامپهای کم مصرف CFL با تولید اختلالات گذرا موجب کاهش کیفیت توان در سیمهای برق می‌شوند. بالاستهای الکترونیکی متداول لامپهای کم مصرف ساخت شرکت جنرال الکتریک^۲، در محدوده فرکانسی ۱۰۰ - ۲۴ kHz عمل می‌کنند. این محدوده در حیطه باند فرکانس رادیویی طیف الکترومغناطیسی قرار دارد و توسط مؤسسه سلامت جهانی^۳ به عنوان فرکانس متوسط^۴ شناخته می‌شود. گزارش‌های اخیر حاکی از تداخل الکترومغناطیسی امواج حاوی این سطح فرکانس و تأثیر سوء فرکانسهای متوسط بر سلامتی می‌باشند. لازم به ذکر است درصد تولید آلودگی الکتریکی در تمامی لامپهای فلورسنت برابر نمی‌باشد. مطابق آخرین تحقیقات میزان آلودگی الکتریکی از ۴۷ تا ۱۴۵۰ واحد GS^۵ در وضعیت کاری انواع لامپهای کم مصرف متغیر است؛ لذا دستیابی به تکنولوژیهای جایگزین جهت تولید لامپهای CFL با میزان آلودگی الکتریکی کمتر ضروری می‌باشد. واحد GS، واحدی جهت بیان انرژی مضر می‌باشد که تابعی از فرکانس و یا در حالت کلی نرخ تغییرات ولتاژ با زمان dV/dt است.

¹ Dirty Electricity

² General Electric

³ World Health Organization

⁴ Intermediate Frequency (IF)

⁵ Graham-Stetzer

همانطور که اشاره شد علاوه بر اثرات مخرب کاهش کیفیت توان بر تجهیزات الکتریکی، آلودگی الکتریکی اثرات سوئی بر سلامت انسان نیز برجای می‌گذارد. تحقیقات حاکی از افزایش احتمال ابتلا به سرطان در اثر آلودگی الکتریکی در میان معلمان یک مدرسه در ایالت کالیفرنیا می‌باشند [8]. بر اساس این تحقیق، احتمال ابتلا به سرطان در میان معلمانی که در یکی از کلاسهای با میزان آلودگی بالاتر از ۲۰۰۰ واحد GS تدریس می‌کردند، ۵ برابر معلمان سایر کلاسها گزارش شده است. این در حالی است که یک جاب لامپ CFL قادر به تولید آلودگی الکتریکی در حدود ۳۰۰ واحد GS می‌باشد و لذا استفاده از تعداد زیاد این لامپها در مصارف خانگی می‌تواند پیامدهای جدی بر سلامت انسان داشته باشد.

به عنوان تجربه‌ای دیگر در مدرسه‌ای در Wisconsin از طریق بهبود کیفیت توان شبکه با استفاده از فیلترهای خط سلامتی معلم و دانش آموزان بهبود یافت. بطوریکه از ۳۷ دانش آموزی که به بیماری آسم مبتلا بودند و روزانه از اسپری استفاده می‌کردند، تنها ۳ نفر نیاز به اسپری پیدا کردند. در میان افراد مبتلا به دیابت نیز همزمان با بهبود کیفیت توان بهبود چشمگیری در بیماری مشاهده شد.

به این ترتیب چنانچه لامپهای کم مصرف نقش مؤثری در تولید آلودگی الکتریکی ایفا کنند و این آلودگی نیز بر سلامتی انسان تأثیر سوء بگذارد، بکارگیری فناوری های جدید در طراحی مجدد این لامپها ضروری است.

فصل پنجم: بررسی تاثیر استفاده از لامپهای CFL بر محیط زیست از حیث وجود جیوه

۵-۱- مقدمه

همانطور که پیش از این در فصل اول اشاره گردید، تمامی لامپهای فلورسنت حاوی بخار جیوه می‌باشند؛ لذا با اعمال الکتریسیته، الکترونهای جیوه انرژی دار شده و به سطوح دیگر انرژی می‌روند و فوتون‌ها (بسته‌های نوری) طی این فرآیند آزاد می‌شوند. به این ترتیب اعمال الکتریسیته به فضای داخل لامپ منجر به درخشش بخار جیوه می‌شود. این درخشندگی در لامپهای فلورسنت در محدوده فرابنفش می‌باشد. در راستای تبدیل نور فرابنفش به مرئی، سطح داخل لامپهای کم مصرف را به مواد فلورسانس آغشته می‌کنند، لذا نور فرابنفش جذب شده و نور مرئی تابیده می‌شود.

جیوه از معدود فلزاتی است که در دمای محیط بصورت مایع بوده و براحتی به شکل گاز درمی‌آید. وجود این عنصر بصورت آزاد در محیط بسیار خطرناک است. قرار گرفتن در مجاورت این فلز سنگین موجب بروز مشکلاتی در عملکرد مغز خواهد شد. مسمومیت جیوه زمانی اتفاق می‌افتد که جیوه از طریق تنفس و یا تماس پوست و یا چشم وارد بدن انسان شده و به سیستم عصبی و سایر ارگانهای بدن آسیب وارد کند. تحقیقات نشان می‌دهند چنانچه بخار جیوه از طریق تنفس وارد بدن شود بیش از هشتاد درصد آن وارد جریان خون می‌گردد. احتمال خطر جیوه بستگی به مقدار، شکل، مدت زمان تماس و سن فرد در معرض تماس دارد و کودکان پرخطرترین گروه آسیب پذیر در مواجهه با این فلز محسوب می‌شوند. در مورد لامپهای کم مصرف تا زمانی که حباب لامپ شکسته نشده باشد، امکان مواجهه با جیوه وجود ندارد. لذا آشنایی با روشهای برخورد با ضایعات لامپهای کم مصرف ضروری می‌باشد که در گزارشهای بعدی در خصوص آن سخن گفته خواهد شد. در این فصل ضمن بررسی اجمالی خطرات نفوذ جیوه به محیط زیست، به ارائه حدود مجاز استاندارد جیوه در لامپهای CFL پرداخته خواهد شد.

۵-۲- خطرات جیوه بر محیط زیست

هر لامپ فلورسنت حدوداً حاوی ۵ میلی گرم جیوه می باشد. طبق ادعای سازمان راهنمای کیفیت آب کانادا (CWQG) جهت حفاظت از منابع آب مقدار جیوه محلول در آب نمی بایست از ۲۶ نانوگرم در هر لیتر آب تجاوز کند. به این ترتیب یک حباب لامپ کم مصرف CFL قادر به آلوده کردن ۱۹۰۰۰۰ لیتر آب خواهد بود. لذا لزوم وجود تسهیلات دفع بهداشتی ضایعات یا بازیافت این لامپها برای محیط زیست کاملاً احساس می شود.

۵-۳- حد مجاز استاندارد جیوه برای لامپهای کم مصرف CFL

بر اساس اطلاعات ذکر شده در استاندارد NEMA LL 8-2008 با عنوان حدود مجاز جیوه مورد استفاده در لامپهای CFL، مقدار بیشینه مجاز جیوه برای لامپهای کمتر از ۲۵ وات ۵ میلی گرم و برای لامپهای بین ۲۵ تا ۴۰ وات ۶ میلی گرم مقرر شده است. استاندارد ENERGY STAR که مورد پذیرش آمریکا و اتحادیه اروپا و اکثر کشورهای پیشرفته دیگر نیز می باشد همان حدود عنوان شده را مجاز دانسته است. ضمناً سنجش محتوی جیوه لامپهای کم مصرف می بایست قبل از کهنگی لامپ صورت پذیرد و درج علامت مخصوص هشدار به مصرف کنندگان از وجود جیوه در محصول ضروری دانسته شده است.

البته تولید کنندگان معتبر لامپهای CFL از توفیق در تولید لامپهایی با مقدار جیوه ۱ میلی گرم یاد کرده اند و لذا احتمال زیادی وجود دارد که حد استاندارد ۵ میلی گرم به زودی و در ویرایش جدید استانداردهای یاد شده مورد بازنگری قرار داده شود.



¹ Limits on Mercury Content in Self-ballasted Compact Fluorescent Lamps



فصل ششم: نتیجه‌گیری

در این گزارش آثار جانبی استفاده از لامپهای کم مصرف CFL بر انسان و محیط زیست (از حیث وجود جیوه) مورد بررسی قرار گرفت و موارد به اثبات رسیده و با اهمیت تری که در خصوص آنها استاندارد وضع گردیده تعیین و حد مجازهای بین المللی در مورد آنها بیان شد.

نخستین مورد از موارد یاد شده تاثیرات این لامپها بر چشم و پوست بود که در این رابطه حدود مجاز تشعشع از استاندارد بین المللی IEC62471 استخراج گردیده و امکانات آزمایشگاهی داخل کشور جهت اندازه گیری شاخصهای استاندارد ارزیابی شده و چند آزمون تقریبی نمونه ای نیز به اجرا درآمد. نتایج آزمایشگاهی اولیه حاکی از بی خطر بودن لامپهای کم مصرف CFL بود. لازم به ذکر است که مطابق این استاندارد که به تازگی تدوین و هنوز در هیچ کشور جهان لازم الاجرا نگردیده است لامپها به چهار رده: ۱- بی خطی خط ۲- کم خط ۳- میان خط ۴- پرخطر تقسیم بندی می شوند. شاخصهای این استاندارد از حاصل تحقیقات بیش از یکصد مقاله معتبر پزشکی که طی حدود ۸۰ سال تحقیقات آزمایشگاهی صورت گرفته استنتاج شده اند و لذا از اطمینان بسیار زیادی برخوردارند.

لامپ بی خطر طبق استاندارد IEC62471 لامپی است که استفاده کننده از آن قادر است بدون هیچگونه آسیبی بر چشم و پوست به مدت ۸ ساعت در روشنایی ۵۰۰ لوکس آن (شدت روشنایی بسیار زیادی که تقریباً در فاصله ۵۰ سانتیمتری از یک لامپ کم مصرف ۲۳ وات ایجاد می شود) به فعالیت پردازد.

مورد دیگر استخراج حد مجاز جیوه در لامپهای کم مصرف بود که از استاندارد ENERGY STAR (استانداردی که هم اکنون در آمریکا لازم الاجرا گردیده است) استخراج شد. طبق استاندارد مذکور میزان جیوه مجاز لامپهای کم مصرف زیر ۲۵ وات ۵ میلی گرم و لامپهای بالای ۲۵ وات ۶ میلی گرم است. البته

بدیهی است که رعایت میزان جیوه در لامپها به تنهایی کافی نبوده و درج علامت خاص جیوه روی لامپها و دفع بهداشتی ضایعات نیز ضروری است که در گزارشهای آینده مورد بررسی بیشتر قرار داده خواهد شد.

بقیه موارد مطرح شده که در فصل چهارم تحت عنوان اثرات احتمالی بر سیستم عصبی و همچنین مواردی نظیر حساسیت‌زایی و سرطان و غیره ذکر شد اتهامات پراکنده و ثابت نشده‌ای هستند که هنوز مورد تأیید مجامع پزشکی قرار نگرفته و لذا هنوز مرز مشخص و استانداردی در رابطه با آنها وضع نگردیده است.

پس به طور خلاصه اینکه در رابطه با اثرات بر محیط زیست (میزان جیوه مجاز) در سطح کشورهای پیشرفته نظیر آمریکا استاندارد لازم‌الاجرا وجود دارد که بدیهی است باید در کشور ما نیز دیر یا زود لازم‌الاجرا شود. در رابطه با اثرات بر چشم و پوست در سطح دنیا استاندارد وضع شده، لیکن هنوز در هیچ کشوری لازم‌الاجرا نشده است. در رابطه با تاثیرات احتمالی بر اعصاب و ... نیز هنوز در حد اتهام است و مورد تایید مجامع پزشکی قرار نگرفته است.



مراجع

- [1] ANSI/IESNA RP-27.1-05 : Recommended Practice for Photobiological Safety for lamps and lamp systems-General Requirements
- [2] ANSI/IESNA RP-27.2-00 : Recommended Practice for Photobiological Safety for lamps and lamp systems- Measurement Techniques
- [3] ANSI/IESNA RP-27.3-07 : Recommended Practice for Photobiological Safety for lamps and lamp systems- Risk Group Classification and Labeling
- [4] IEC62471/2006-07: Photobiological Safety of lamps and lamp systems
- [5] NEMA Standards Publication LL8-2008, Limits on Mercury Content in self-Ballasted CFLS
- [6] ENERGY STAR Program Requirements for CFLs, Partner Commitments, version 4.0, March 2008
- [7] Migraine Action Association Website at www.migraine.org.uk
- [8] "Environmental and Health Concerns Associated with Compact Fluorescent Lights"; Environmental Petition Submitted to the Auditor General of Canada, June 2008