انجمن بازرسی غیرمخرب ایران
Iranian Society for Nondestructive Testing (IRNDT)

نکاتی در مورد استفاده از نور ماوراء بنفش (UV) در آزمون‌های غیرمخرب (NDT)

مهندس میرمجید قائمی

چرا باید از عینک‌های محافظ در برابر نور ماوراء بنفش استفاده کرد؟

در بسیاری از موارد تست‌های غیرمخرب با روش‌های PT و MT با مواد فلورسنت انجام می‌شود که برای مشاهده عیوب لازم است بازرسی قطعه در یک محیط کاملا تاریک و زیر نور ماوراء بنفش صورت گیرد. در طیف نور مرئی کوتاهترین طول موج مربوط به نور آبی است و بعد از آن نور ماوراء بنفش قرار دارد که قابل رویت نیست. نور ماوراء بنفش دارای طول موج کوتاهتر از نور مرئی است و چون در محدوده قابل رویت چشم انسان نیست بنابراین ما قادر به دیدن آن نیستیم به همین دلیل به آن نور سیاه (Black Light) هم گفته می‌شود مثل اشعه ایکس که طول موج آن از اشعه ماوراء بنفش هم بسیار کوتاهتر است در نتیجه با چشم قابل رویت نیست ولی همانطور که اشعه ایکس علیرغم غیرقابل مشاهده بودن بر روی اندام‌های انسان اثر می‌گذارد، اشعه ماوراء بنفش هم بی‌تاثیر بر بخشی از اندام‌های انسان نیست. اشعه ایکس به دلیل طول موج بسیار کوتاه و خاصیت یونیزاسیون آن باعث تخریب بافت‌های زنده می‌شود.

اشعه ماوراء بنفش خاصیت یونیزاسیون ندارد و به اندازه اشعه ایکس خطرناک نیست ولی تابش مداوم آن بر پوست انسان و به ویژه برخورد مستقیم آن به چشم در دراز مدت باعث صدمه دیدن پوست و چشم می‌شود. به همین دلیل توصیه می‌شود که در زیر نور ماوراء بنفش همواره از دست‌کش و عینک‌های ضد UV استفاده شود و از نگاه کردن مستقیم به منبع اشعه UV خودداری شود. اثرات مخرب نور شدید آفتاب بر پوست و چشم انسان نیز به دلیلی بخش ماوراء بنفش نور خورشید است که به همین دلیل توصیه می‌شود از قرار گرفتن طولانی مدت پوست و چشم در برابر نور مستقیم خورشید خودداری شود و یا از پوشش و کِرم‌های ضد آفتاب و عینک‌های آفتابی ضد UV استفاده شود.

درباره اشعه ماورا بنفش چه می‌دانیم؟

نور بخشی از طیف الکترومغناطیس است. این امواج دارای طیف بسیار وسیعی است که با فرکانس یا طول موج آن مشخص می‌شود. در یک سمت این طیف امواج رادیویی با فرکانس کم و طول موج بلند قرار دارند و در سمت دیگر طیف اشعه مجهول ایکس و گاما با فرکانس زیاد و طول موج کوتاه قرار می‌گیرند. نور قابل رویت برای انسان در حد وسط با طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر (هر نانومتر یک میلیاردیم متر) قرار دارد که از رنگ قرمز تا رنگ بنفش گسترده است. در مرز نور مرئی به سمت امواج بلندتر از ۷۰۰ نانومتر بعد از نور قرمز که مرئی است اشعه مادون‌قرمز قرار دارد که قابل رویت نیست و در سمت دیگر یعنی به سمت طول موج‌های کوتاهتر از ۴۰۰ نانومتر بعد از نور بنفش مرئی اشعه ماوراء بنفش قرار می‌گیرد که آن هم قابل رویت نیست. نور طبیعی یعنی نور خورشید غیر از نور مرئی که مشاهده می‌کنیم محتوی نور ماوراء بنفش نیز می‌باشد که طیف آن متناسب با طول موج آن به سه محدوده A، B و C به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

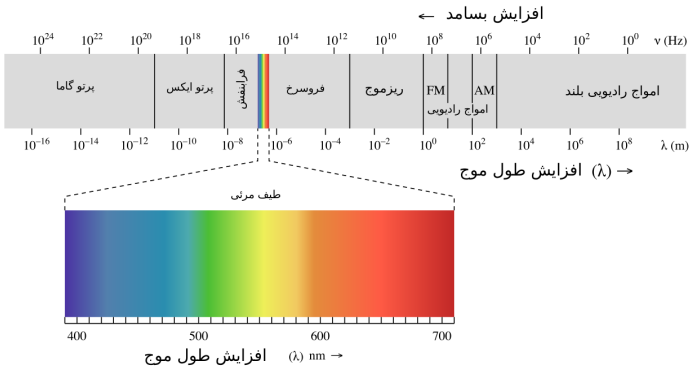
UVA ۳۲۰ تا ۴۰۰ نانومتر
UVB ۲۹۰ تا ۳۲۰ نانومتر
UVC ۲۰۰ تا ۲۹۰ نانومتر

واضح است که UVC به دلیل طول موج کوتاهتر آن از دو طیف A و B قویتر و مضرتر است. اکسیژن هوا طول موج‌های بسیار مضر کمتر از ۲۰۰ نانومتر را کاملا جذب می‌کند. لایه ازن جو اشعه ماوراء بنفش ۲۰۰ تا ۳۴۰ نانومتر را نیز عمدتا جذب می‌کند در نتیجه ۹۹ درصد اشعه ماوراء بنفش وارده به سطح زمین از نوع UVA می‌باشد و تنها یک درصد آن UVB است. البته UVB علیرغم خواص مضر آن دارای اثر مثبت تحریک‌پذیری پوست جهت تولید ویتامین D هم می‌باشد.

شیشه معمولی پنجره معمولا بیش از ۹۰ درصد تابش‌های UV کوتاهتر از ۳۰۰ نانومتر را از خود عبور نمی‌دهد.

اشعه UV دارای خواص فتوالکتریک و شیمیایی و خاصیت فلورسانس است که از این خاصیت‌ها در پزشکی و صنعت می‌توان استفاده کرد.

در لامپ‌های مهتابی در اثر عبور جریان الکتریکی در محیط بخار جیوه قوس بخار جیوه ایجاد شده و اشعه UV آزاد می‌شود و پوشش فسفری نور UV را جذب و به نور مرئی تبدیل می‌کند. در این لامپ‌ها ۶۰ درصد جریان الکتریکی صرف



تولید اشعه UV می‌شود و ۲۰ درصد آن تبدیل به نور مرئی می‌گردد. در نتیجه ۸۰ درصد آن به صورت UVA و UVB و حرارت دفع می‌شود که قابل رویت نیست. این لامپ‌ها بیشتر از خورشید UVB تولید می‌کنند. بنابراین توصیه می‌شود که از این نوع لامپ‌ها بیشتر در گذرگاه ها نصب شود و هرگز به عنوان چراغ مطالعه استفاده نشود و از قرار گرفتن در مجاورت آنها به مدت طولانی نیز اجتناب شود. از اشعه UV با طول موج ۲۵۴ نانومتر برای ضدعفونی و باکتری‌کشی یعنی توقف تکثیر میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌شود. امروزه در چاپ افست از مرکب‌هایی استفاده می‌شود که دارای رنگ‌های بسیار متنوع هستند و فقط در زیر نور UV به سرعت خشک می‌شوند. در دندانپزشکی برای پر کردن دندان از کامپوزیتی استفاده می‌شود که به رنگ طبیعی دندان بوده و فقط در زیر نور UV به سرعت سفت می‌شود.

از خاصیت فلورسانس اشعه UV در تست‌های غیرمخرب و یا کنترل اسناد و اسکناس‌ها استفاده می‌شود. اجسامی مثل گچ کولوفان (colophan)، محلول سالسیلات دوسود یا آنتی پرین و بعضی رنگ‌های معدنی در برابر اشعه ماوراء بنفش به نسبت جذب اشعه درخشندگی پیدا می‌کنند که میزان درخشندگی بستگی به طول موج اشعه و شدت جذب اشعه دارد. اشعه ساطع شده از لامپ‌های UV که به نور سیاه شهرت دارند و در صنعت و یا پزشکی و یا سولاریوم ها استفاده می‌شوند قاعدتا نباید با چشم معمولی قابل رویت باشند ولی ما معمولا آنها را با رنگ آبی تیره مایل به بنفش مشاهده می‌کنیم. دلیلش اینست که در این لامپ‌ها طول موج‌های منتهی الیه اشعه ماورا بنفش مخلوط با اشعه بنفش تولید می‌شود و در واقع بخش تلف شده نور ماورا بنفش است. چرا که ساخت لامپ UV کاملا خالص بسیار مشکل و پرهزینه است و همچنین مضرات آن برای انسان زیاد است.

آسیب های اشعه ماورا بنفش

آسیب عمده این اشعه به چشم انسان وارد می شود که متناسب با شدت اشعه، طول موج اشعه، مدت زمان و جهت تابش اشعه وسن انسان متفاوت است. موارد مهم این آسیب‌ها عبارتند از: تخریب سیاهی چشم یعنی آسیب دیدن مرکز شبکیه و تشکیل نقطه تاریک در دید و کدر شدن تصویر، ایجاد کاتاراکت (آب مروارید)، سوختگی چشم یا اصطلاحا برف کوری در اثر التهاب قرنیه، ایجاد گلمژه یعنی تورم غیرسرطانی در گوشه چشم که باعث محدود شدن دید می شود.

آسیب دیگر به پوست انسان وارد می شود که شامل: برنزه شدن، لکه لکه شدن پوشت، چین و چروک پوست و بالاخره ابتلا به سرطان پوست در اثر تاثیر اشعه روی DNA انسان است. خطرات UVA در اثر تابش مداوم به دلیل نفوذ زیاد در عمق پوست و جذب فوتونها توسط DNA و ایجاد جهش در آنها زیاد است. امروزه سرطانزا بودن سولاریوم ها که اشعه UVA تولید می‌کنند خطری جدی محسوب می‌شود. برف ۸۰ درصد UV را منعکس می‌کند ولی ماسه‌های ساحل دریا ۳۵ درصد آن را انعکاس می‌دهند.

امروزه کنترل شدت اشعه ماوراء بنفش در محیط زندگی انسان‌ها همراه با کنترل میزان آلودگی هوا از ضروریات مدیریت شهری محسوب می‌شود. طبق استانداردها میزان UV در محیط زندگی نباید بیشتر از ۱۱ باشد. مضرات شدت تابش اشعه UV طبق جدول زیر می‌باشد:

بی خطر	۱ – ۲
کم خطر	۳ – ۵
پرخطر	۶ – ۷
بسیار پرخطر	۸ – ۱۰
شدیدا پرخطر	۱۱

البته در فاصله زمانی ساعت ۱۱ تا ۱۶ میزان تابش اشعه ماوراء بنفش شدیدتر است، چون خورشید در بالاترین حد خود قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری‌های انجام شده در تهران نشان داده که در بعضی روزها شدت آن از ۱۲ هم بیشتر بوده است که دلیل آن نازک شدن لایه ازن در اثر استفاده غیرمعمول از سوخت‌های فسیلی و هیدروکربن‌ها می‌باشد.

اما اثرات مخرب اشعه ماوراءبنفش در چشم چگونه رخ می‌دهد؟

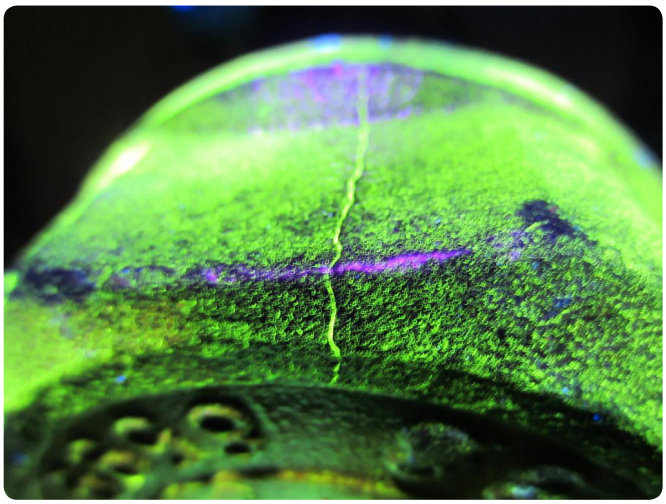
بازرسی که در زیر نور ماوراءبنفش کار NDT انجام می‌دهد می‌گوید: "من با چشم راستم نمی‌توانم مثل سابق عیوب قطعه را در تاریک‌خانه زیر نور ماوراءبنفش ببینم مگر اینکه از عینک ضد UV استفاده کنم در حالیکه با چشم چپم می‌توانم بدون عینک هم عیوب را مشاهده کنم!" این اظهارات قدری عجیب بود ولی وقتی چند سوال دیگر از وی پرسیده شد مشخص گردید که وی اخیرا عمل کاتاراکت (آب مروارید) روی چشم راستش انجام داده و در نتیجه این چشم برای کارهای NDT فلورسنت کارآئی خود را از دست داده است.

آب‌مروارید یک عارضه‌ای در عدسی چشم است که در اثر آن میزان انتقال نور در عدسی طبیعی چشم کاهش می‌یابد و میزان جذب طول موج‌های کوتاه مثل نور آبی و ماوراءبنفش در آن افزایش پیدا می‌کند. پس از ابتلا، به مرور زمان آب‌مروارید شدت پیدا می‌کند و باعث افت شدید دید چشم می‌شود و باید معالجه گردد. برای درمان این عارضه یک عمل جراحی ساده‌ای معمول است که طی آن عدسی معیوب را خارج کرده و بجای آن یک عدسی پلاستیکی مصنوعی کار گذاشته می‌شود. بعد از عمل جراحی شخص دید بسیار خوبی پیدا می‌کند. البته عدسی

انجمن بازرسی غیرمخرب ایران
Iranian Society for Nondestructive Testing (IRNDT)

مصنوعی یک جسم صلب است و مثل عدسی طبیعی چشم قادر به تغییر شکل و انجام تطابق و فوکوس خودکار برای مشاهده اشیا مطابق با فاصله آن‌ها نیست اما معمولا این نقیصه را چشم پزشکان با تجویز عینک مطالعه مناسب برطرف می‌کنند.

اما چرا این بازرس قادر به مشاهده عیوب قطعه با چشم جراحی شده نیست؟ پاسخ اینست که اشخاصی که عمل آب مروارید انجام می‌دهند دید سوپرپاور پیدا می‌کنند! آنها می‌توانند نور ماوراءبنفش را ببینند! همانطور که گفته شد نور ماوراءبنفش را «نور سیاه» هم می‌نامند چرا که چشم ما قادر به دیدن آن نیست اما فوتورسپتورهای شبکیه چشم ما به آن حساس هستند و در برابر آن عکس‌العمل نشان می‌دهند یعنی در اثر برخورد این اشعه به شبکیه می‌توانیم آن را ببینیم و علت اینکه ما نمی‌توانیم آن را مشاهده کنیم آنست که عدسی طبیعی چشم ما دارای پیگمنت‌های جاذب اشعه ماوراءبنفش است که آنرا جذب نموده و مانع از رسیدن آن به شبکیه چشم می‌شود. بنابراین اگر عدسی طبیعی چشم را خارج کنیم محدوده دید ما به حوزه ماوراءبنفش هم گسترش خواهد یافت. برای تایید این نکته از بازرس مزبور سوال شد که در تاریک‌خانه‌ای که چراغ UV روشن است با چشم جراحی شده چه می‌بیند؟ او پاسخ داد که با چشم چپ که سالم است همه چیز را سیاه می‌بیند و نور چراغ را طبق معمول به رنگ ارغوانی درخشان مشاهده می‌کند ولی با چشم راست که عمل شده مثل اینست که در یک اتاق کاملا روشن مستقر شده است. بنابراین عیوب قطعه مورد آزمایش را با چشم چپ با کنتراست بسیار خوب مشاهده می‌کند ولی با چشم راست همه چیز آنقدر روشن است که علامت فلورسنت عیب قابل تشخیص نیست.



انسان بدون داشتن عدسی در چشم نیز می‌تواند ببیند (حالتی که آنرا آفاکیا Aphakia می‌نامند). در قرن‌های گذشته هم برای درمان آب مروارید صرفا به درآوردن عدسی طبیعی چشم قناعت می‌کردند و عدسی مصنوعی مناسب هنور ابداع نشده بود و برای کسب دید خوب از عینک استفاده می‌شد. نقاش معروف، کلودمونت (Cloude Monet) که دچار آب مروارید شده بود در سال ۱۹۲۳ عدسی چشم‌هایش را درآورده بودند. در زمانی‌که او دچار این بیماری بود بعلت اینکه میزان جذب نور آبی در عدسی چشم‌هایش زیاد شده بود نقاشی‌هایش بیشتر تون قرمز رنگ بخود گرفت. بعد از جراحی او متوجه شد که بدلیل حساسیت چشم‌هایش به رنگ ماوراءبنفش قدرت تفکیک رنگ‌ها در چشمهایش بیشتر متمایل به آبی شده است و این تفاوت دید وی را به وضوح می‌توان در نقاشی‌های وی قبل و بعد از عمل جراحی مشاهده کرد.

ابداع عدسی مصنوعی بعد از جنگ جهانی دوم رخ داد. در زمان جنگ در مواردی مشاهده شد که در سوانح هوایی تراشه‌هایی از محافظ جلویی هواپیماهای جنگنده انگلیسی که از جنس آکریلیک (PMMA) ساخته شده بود در چشم خلبان فرو رفته بود. چشم پزشکان متوجه شدند که در اثر این حادثه غیر از آسیب مکانیکی که به چشم وارد می‌شد چشم عکس‌العمل خاصی به وجود این نوع پلاستیک نشان نمی‌دهد. بدنبال این یافته‌ها عدسی‌های پلاستیکی کوچکی جهت جایگزینی با عدسی طبیعی برای درمان کاتاراکت ساخته شد. پلاستیک PMMA خالص نسبت به نور ماوراءبنفش شفاف است. در اغلب کاربردهای تجارتی مواد افزودنی جاذب UV به این پلیمر اضافه می‌شود تا عمر آن را افزایش داده و یا مانع از عبور اشعه ماوراءبنفش خورشید به نقاط مورد نظر شود. مواد پلیمری شفاف به اشعه UV برای کابردهای مثل تخت‌های برنزه شدن (سولاریم) در بازار عرضه می‌گردد و برای ساخت عدسی مصنوعی چشم نیز از این نوع پلیمرها استفاده می‌شود. بنابراین بدلیل عبور اشعه UV از عدسی مصنوعی چشم و همچنین حساسیت ذاتی شبکیه چشم، اشخاصی که عمل آب مروارید انجام می‌دهند بعد از عمل جراحی می‌توانند اشعه ماوراءبنفش را ببینند. در مورد بازرس مورد اشاره هم روشن کردن چراغ UV در تاریک‌خانه مثل روشن کردن یک لامپ قوی نور سفید برای ما می‌باشد. در نتیجه انعکاس اشعه ماوراءبنفش قوی از سطح قطعه باعث می‌شود که کنتراست تصویر فلورسنت که معمولا از عیوب مشاهده می‌شود از بین برود. اما زمانی‌که وی عینک جاذب اشعه UV به چشم می‌زند عملا هیچ اشعه انعکاسی به چشم او نمی‌رسد و در نتیجه قادر به مشاهده عیوب با کنتراست خوب است.

البته حیوانات زیادی هستند که قادرند طیف‌هایی از اشعه ماوراءبنفش را ببینند. به این بازرس هم توصیه شد که مدت زمانی را در طبیعت سیر کند و به مشاهده بعضی رنگ‌ها بپردازد که ما معمولا نمی‌بینیم ولی بعضی از حیوانات مشاهده می‌کنند. زنبورها دارای دید ماوراءبنفش هستند و بعضی از گلها را که ما به یک رنگ یکنواخت مشاهده می‌کنیم آنها بسیار متنوع می‌بینند. بعضی پرندگان و ماهی‌ها قادر به دیدن اشعه ماوراءبنفش هستند و بعضی عقرب‌ها رنگ‌های بسیار جذاب در طیف ماوراءبنفش دارند که حشرات را به خود جذب می‌کنند. طیف گسترده رنگ ماوراءبنفش دنیایی از رنگ‌های متنوع است که برای ما قابل رویت نیست و لی اشخاص با قدرت دید ماوراءبنفش قادر به دیدن آنها هستند. بازرس مورد نظر با استفاده از عینک UV براحتی توانست قدرت دید عیوب را مجددا بدست آورد. بنابراین عینک‌های جاذب اشعه UV مانع از رسیدن اشعه UV به چشم انسان می‌شوند و پزشکان اهمیت حفاظت شبکیه چشم در مقابل

این اشعه را همواره گوشزد می‌کنند. امروزه اغلب عدسی‌های مصنوعی را هم با حفاظ در برابر اشعه ماوراءبنفش می‌سازند. اگر شما تصور می‌کنید چون عمل آب مروارید انجام نداده‌اید نیاز به عینک فیلتردار ندارید دلایل دیگری هم جهت استفاده از آن‌ها وجود دارد. قرار گرفتن مداوم طولانی مدت در برابر نور معمول آفتاب نیز باعث آسیب دیدن چشم در اثر طیف اشعه ماوراءبنفش آن می‌شود. این خطر برای یک بازرس NDT که ناچار است مدت زمان طولانی در معرض اشعه UV قرار گیرد به مراتب بیشتر می‌شود. توجه کنید که شما در تاریکخانه بازرسی در معرض شدید اشعه UV و در فاصله کم و در محیط تاریک یعنی در حالتی که مردمک چشم شما کاملا باز است قرار دارید. گرچه خطر آسیب رسیدن به چشم با افزایش سن بیشتر می‌شود در عین حال حتی بازرسان جوان هم باید از عینک محافظ استفاده کنند. ضمنا باید خاطر نشان کرد که پیگمنت‌های جاذب اشعه ماوراءبنفش در عدسی طبیعی انسان هم تا سن ۲۵ سالگی تکامل پیدا نمی‌کنند. در نتیجه بخشی از اشعه ماوراءبنفش می‌تواند به شبکیه چشم افراد جوان برسد. عینک‌های ضد UV مناسب چندان گران قیمت نیستند و کاملا منطقی است که با یک تدبیر ساده از چشمان با ارزش خود محافظت کنید. ضمنا دقت کنید عینکی تهیه نمایید که چشم‌ها را کاملا از هر طرف بپوشاند بطوریکه اشعه ماوراءبنفش انعکاسی، از کناره‌های جانبی عینک نیز نتواند بطور غیرمستقیم به چشم برخورد نماید.

میزان مجاز پرتوگیری با اشعه ماوراءبنفش در مدت زمان ۸ ساعت برای طول موج‌های مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای طول موج‌های بلند اشعه ماوراءبنفش (از ۳۲۰ نانومتر تا مرز نور مرئی) شدت اشعه در برخورد مستقیم به چشم یا پوست حفاظت نشده نباید بیش از ۱mw/cm۲ در مدت زمان بیش از ۱۰۰۰ ثانیه باشد. برای زمان تابش کمتر از ۱۰۰۰ ثانیه میزان تابش به چشم یا پوست حفاظت نشده نباید بیش از ۱J/cm۲ در طول زمان کل ۸ ساعت باشد.

شدت نور ماوراءبنفش را در هر نقطه مورد نظر می‌توان توسط رادیومترهای جیبی مخصوص اندازه گیری کرد. اما باید دقت کرد که اغلب رادیومترهای جیبی ارزان قیمت فقط برای یک طول موج خاص کالیبره می‌شوند که برای منظور خاصی و برای لامپ UV خاصی می‌باشند و هیچ تضمینی وجود ندارد که در طول موج‌های دیگر هم کارآیی صحیحی داشته باشند. رادیومترهای خاصی که در تست‌های غیرمخرب ذرات مغناطیسی و مایعات نافذ استفاده می‌شوند و به رادیومتر نور سیاه شهرت دارند معمولا برای طول موج‌های ۳۲۵ نانومتر کالیبره می‌شوند که طول موج اشعه ماوراءبنفش فیلتر شده‌ای است که از لامپ بخار جیوه فشار متوسط ۱۰۰ وات ساطع می‌شود که معمولا در صنعت استفاده می‌گردد.

منابع:

۱- هندبوک‌های NDT انجمن تست‌های غیرمخرب آمریکا (ASNT)
۲- ویکی‌پدیا و منابع اینترنتی ndt.net
-۳ Charles Mazel, “UV Vision” Materials Evaluation Dec. ۲۰۰۹

جدول۱: حداکثر میزان مجاز پرتوگیری با اشعه ماوراءبنفش در مدت ۸ ساعت برای طول موج‌های مختلف

طول موج (نانومتر)	MJ/cm²	حداکثر میزان مجاز
200	100	
210	40	
220	25	
230	16	
240	10	
250	7	
260	6	
270	4.6	
280	3	
290	3.4	
300	4.7	
305	10	
310	50	
315	200	
	1000	

شکل ۱: تصویر یک گل در شرایط مختلف
a) زیر نور مرئی معمولی. b) زیر نور ماوراءبنفش. c) شبیه‌سازی تصویری که یک فرد دارای قابلیت مشاهده نور ماوراءبنفش از همان گل خواهد دید.