Archive of SID

امکان‌سنجی کاربرد سیستم پرتوتابی میکروب‌کشی فرابنفش در غیرفعال سازی میکروارگانیزم‌های موجود در هوا

کاظم ندافی[۱]، غلامرضا موسوی[۱]، شاهرخ نظم‌آرا [۱]

Title: *Feasibility study on the use of Ultra Violet Germicidal Irradiation (UVGI) system in inactivation of indoor air.*

Authors: *Naddafi K,(PhD); Mosavi G,(MSPH); Nazmara S,(MSPH).*

Introduction: *Contamination of indoor air by microbial pollutants such as fungi, bacteria and viruses has been increasingly recognized as a public health problem and may be responsible for building-related illness (BRI) and sick building syndrome (SBS). Up to now, the different methods have been applied for killing/inactivation microbial pollutants in indoor air. One of the new methods is UVGI system. This stydy presents the feasibility of UVGI system in inactivation of air born pathogens.*

Methods: *For this purpose a stand-alone UVGI unit has been used. The characteristics of the studied system are as fallows: radiation 11.2 W, contact time 0.6 S, airflow rate 30 m^3/h. Heterotrophic plate count (HPC), ozone, air flow rate and temperature were selected as the most decisive healthy and technological parameters for a practical application. All of the parameters were examined in accordance with the standard methods.*

Results: *This study showed that, this system can inactivate/kill 92.5 percent of microorganisms in passing air flow through the system. Average air temperature in outlet of system was 10 centigrade degree warmer than inlet air. Also, Ozone concentration in samples taken from inlet and outlet of reactor was under detection limit.*

Conclusion: *Based on observed results, the use of tested system in practice seems to be a potential technology for indoor air disinfection without ozone production as a bye-product.*

Keywords: *Indoor air, microbial pollutant, disinfection, UVGI.*

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تهران

www.SID.ir

Archive of SID

چکیده:

مقدمه: *آلودگی هوای داخلی به وسیله آلاینده‌های میکروبی مثل قارچ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌ها، به عنوان یک مسئله بهداشتی جدی شناخته شده و ممکن است عامل ایجاد بیماری وابسته به ساختمان* (BRI) *و سندرم ساختمان مریض* (SBS) *باشد. تاکنون روش‌های مختلفی برای نابودی پاتوژن‌های میکروبی موجود در هوای داخلی ارائه شده است. یک روش جدید در این زمینه کاربرد سیستم پرتوتابی میکروبکشی تابش فرابنفش* (UVGI) *می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی امکان کاربرد سیستم* UVGI *درغیرفعال سازی میکروارگانیزم‌های منتقله توسط هوا است.*

روش‌کار: *به این منظور از یک واحد* UVGI *مدل تک ایستا استفاده شده است. مشخصات این دستگاه عبارت است از: ابعاد* ۱۳۸ cm × ۱۷ cm× ۷ cm*، تابش* ۲۲/٤w*، ظرفیت* ۳۰ m^3/h*، زمان تماس* ۰/٦ s*. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل شمارش بشقابی هتروتروف‌ها* (HPC)*، ازن، میزان جریان و دمای هوا در ورودی و خروجی سیستم بوده که براساس روش‌های استاندارد انجام شده است.*

یافته‌ها: *نتایج نشان می‌دهد که این واحد بدون تولید فراورده‌های جانبی مثل ازن قادر به غیرفعال سازی ۹۲/۵ درصد میکروارگانیزم‌های موجود در هوای عبوری از آن است. همچنین میزان جریان قابل گندزدایی توسط این دستگاه* ۳۰ m^3/h *می‌باشد. این سیستم دمای هوای ورودی را به میزان ۱۰ درجه سانتی گراد افزایش می‌دهد که در برخی از موارد ممکن است یک محدودیت به حساب آید.*

نتیجه‌گیری: *براساس نتایج بدست آمده، سیستم مورد مطالعه هیچگونه محصولات جانبی خطرناک تولید نکرده و می‌تواند به عنوان یک روش گندزدایی برای از بین بردن میکروارگانیزم‌های موجود در هوای محل‌های سر بسته به کار برده شود.*

گل‌واژگان: *هوای داخلی، آلودگی میکروبی، گندزدایی،* UVGI.

مقدمه:

انسان و فعالیت‌هایش در فضای داخلی و سربسته باعث ایجاد و انتشار بیوآئروسل‌ها از جمله قارچ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌ها و درنتیجه آلودگی هوای داخلی می‌شودکه تعداد زیادی از این پاتوژن‌ها قادرند مدت زیادی در هوا زنده مانده و از طریق تنفس به افراد دیگر منتقل شوند (۱). ازطرفی امروزه به منظور استفاده بهینه از انرژی و افزایش بهره‌وری سیستم‌های تهویه مطبوع در محل‌های سربسته، سعی برکاهش تماس هوای داخلی با هوای آزاد می‌شود. لذا، پاتوژن‌ها توسط سیستم تهویه بطور مداوم به چرخش وگردش درآورده می‌شود که این کار انتشار بیوآئروسل در کل فضای داخلی را باعث می‌شود (۱ و ۲).

در سالهای اخیر آلودگی هوای داخل به وسیله آلاینده‌های میکروبی به عنوان یک مسئله بهداشتی جدی شناخته شده و ممکن است عامل ایجاد بیماری مرتبط با ساختمان[1] (BRI) و سندرم ساختمان بیمار[2] (SBS) باشد. این اصطلاحات عموماً برای بیان مشکلات بهداشتی ناشی از وجود آلاینده‌های میکروبی یا شیمیایی در هوای داخلی استفاده می‌شوند (۳). پاتوژن‌های منتقله از طریق هوا مثل قارچ‌ها، باکتریها، ویروس‌ها در هوای داخلی می‌توانند باعث ایجاد حساسیت‌زایی، بیماری‌های عفونی و مشکلات تنفسی گردند که عوارض وعلایم مختلفی را به همراه دارد. به ویژه وقتی که یک فرد ۸۰ تا ۹۰ درصد وقت خود را در اماکن سربسته اعم از خانه یا محل کار می‌گذارند، این مشکل جدی‌تر شده و نمود بیشتری پیدا خواهد کرد و نیز هزینه‌های زیادی را برای درمان و عوارض از کارافتادگی به جامعه تحمیل می‌کند (۵-۳).

در این مقاله استفاده از پرتوتابی میکروب‌کشی تابش فرابنفش[3] (UVGI) جهت کنترل پاتوژن‌ها منتقله توسط هوا در فضای داخلی بررسی شده است. اگرچه، سیستم UVGI چندین سال است که به عنوان یک روش گندزدایی برای کمینه‌سازی جمعیت میکروبی موجود در هوا استفاده می‌شود، اما داده‌های کمی در مورد حساسیت پذیری پاتوژن‌های منتقله توسط هوا

[1] - Building- related illness
[2] - Sick-building syndrome
[3] - Ultraviolet germicidal irradiation

www.SID.ir

Archive of SID

نسبت به تابش فرابنفش و نیز اثربخشی واحدهای UVGI تجاری برای کشتن یا غیرفعال سازی آنها موجود است (۷). این امر نیاز به تحقیقات پایه‌ای گسترده‌تر و جدی‌تر را در این زمینه ایجاب کرده و ضرورت آزمایش و تعیین کارایی واحدهای UVGI تولید شده توسط موسسات تجاری را برای محل خاص و هدف مورد نظر می‌رساند. این تحقیق به منظور امکان سنجی کاربرد سیستم UVGI در غیرفعال سازی میکروب‌های منتقله از طریق هوا انجام شده است که برای این کار از یک واحد UVGI مدل تک ایستا استفاده شده است.

روش کار:

UVGI و گندزدایی هوا:

طیف الکترومغناطیسی از طول موج ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر به عنوان تابش فرابنفش نامیده می‌شود که بین اشعه X و نور مرئی قرار دارد. تابش UV نامرئی است و با چشم غیرمسلح دیده نمی‌شود که براساس طول موج به سه نوع متفاوت تقسیم می‌شود: UV-A (۳۱۵–۴۰۰nm)، UV-B (۲۸۰–۳۱۵) و UV-C (۱۰۰–۲۸۰) (۳و۸).

مؤثرترین طول موج برای کشتن یا غیرفعال سازی میکروب‌ها، گستره ۲۹۰ nm–۱۰۰ بوده که در محدوده UV-C قرار دارد که طول موج بهینه میکروب‌کشی که حداکثر قدرت میکروب‌کشی را داراست، ۲۶۰nm می‌باشد. بیشتر لامپ‌های UVGI که بطور تجاری ساخته می‌شوند، لامپ‌های بخار جیوه با فشار کم بوده که طول موج ۲۵۳/۷ نانومتر که نزدیک به طول موج بهینه (۲۶۰nm) برای کشتن میکروب‌ها است را تولید می‌کنند (۹). بطورکلی مبنای طراحی سیستم‌های UVGI برای گندزدایی هوا، دوز تابش به کاربرده شده می‌باشد که خود تابع شدت انرژی تابش رسیده به میکروارگانیزم و زمان تماس می‌باشد و درحال حاضر یک مدل ریاضی کامل برای این کار ارائه شده است (۱، ۷ و ۱۰).

تابش فرابنفش با آسیب زدن و تخریب DNA یا RNA داخل سلول، میکروب‌ها را کشته یا غیرفعال می‌کند. بازهای پورین و پریمیدین DNA و RNA تابش UV را جذب نموده که منجر به ممانعت یا تغییر جفت بازها می‌شود. در این حالت دایمرها تولید شده، و سلول دچار ناتوانی تولید مثل یا تخریب در اثر ممانعت از فعالیت متابولیکی به ویژه تولید پروتئین می‌گردد (۱۱ و ۱۲).

اثرات جانبی بالقوه خطرناک ممکن است در اثر کاربرد سیستم UVGI برای انسان وجود داشته باشد. تماس شدید کوتاه مدت با UVGI باعث ایجاد اریتم در پوست، التهاب قرنیه و التهاب ملتحمه می‌گردد (۱).

در این مطالعه از یک واحد UVGI مدل تک ایستا Mk3000 ساخت شرکت رمزآسا استفاده شده است. این سیستم از نوع تک ایستا بوده و متشکل از یک محفظه فلزی به ابعاد ۱۳۸cm×۱۷cm×۷cm با یک دریچه ورودی وخروجی مجهز به صافی و یک فن برای به جریان انداختن هوا در داخل سیستم می‌باشد که دو عدد لامپ UV از نوع بخار جیوه با فشار کم منتشرکننده تابش UV با طول موج غالب ۲۵۳/۷ نانومتر به موازات جهت جریان هوا در آن نصب شده است. مشخصات لامپ‌های UV مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

در ابتدا به منظور آماده سازی دستگاه برای نمونه‌برداری، روی دریچه‌های ورودی وخروجی کانال‌هایی به ارتفاع ۰/۵ متر ساخته و نصب گردید. بعد از آماده‌سازی سیستم، سرعت جریان هوای عبوری در ورودی وخروجی توسط دستگاه سرعت سنج اندازه‌گیری و از روی آن میزان جریان هوای عبوری و زمان ماند تماس میکروارگانیزم‌ها با تابش UV محاسبه گردید. مرحله بعد که مهمترین مرحله کار می‌باشد، انجام نمونه‌برداری میکروبی از هوای ورودی و خروجی برای تعیین راندمان سیستم در غیرفعال سازی میکروارگانیزم‌ها بود که برای این کار از شمارش بشقابی (HPC) به روش صافی غشایی استفاده شد.

به این ترتیب که تعداد ۱۰ نمونه از هریک از کانال‌های ورودی و خروجی و باعبور حدود یک مترمکعب هوا از میان صافی غشایی از نوع GELMAN گرفته شده و سپس صافی‌ها روی محیط کشت نوترنیت آگار به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۳۵°C کشت داده شده و بعد از این مدت تعداد کلنی‌ها تشکیل شده شمارش و بصورت CFU/m^3 ثبت گردید. لازم به ذکر

جدول ۱- مشخصات لامپ UV به کاررفته در دستگاه UVGI

نوع	ولتاژ لامپ (V)	جریان لامپ (A)	تابش UV-C (w)	طول عمر مفید (h)	استهلاک بعد از ۵۰۰۰ ساعت کار (٪)	وزن خالص (g)	طول (cm)	قطر (cm)	تعداد
UV-30W	۱۰۰	۰/۳۷	۱۱/۲	۸۰۰۰	۱۲	۷۵	۹۰/۲	۲/۸	۲

www.SID.ir

Archive of SID

است که در تمامی این نمونه‌ها دمای جریان هوای ورودی و خروجی توسط دماسنج اندازه‌گیری شده است.

آزمایش دیگر، انجام نمونه برداری از ورودی وخروجی برای بررسی احتمال تولید ازن توسط لامپ‌های UV به کاررفته در دستگاه می‌باشد. وسیله نمونه‌برداری در این بخش، ایمپنیجر محتوی محلول جاذب (۱KI٪ در بافر فسفات ۰/۱ مولار) و روش یدومتری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۵۲nm بوده که براساس میزان جذب نمونه‌ها و با استفاده از منحنی کالیبراسیون دستگاه اسپکتروفتومتر، غلظت ازن در ورودی و خروجی سیستم تعیین مقدار می‌گردید (۱۴).

یافته‌ها:

میزان جریان و هوای قابل گندزدایی و زمان ماند میکروارگانیزم‌ها

برای تعیین و اندازه‌گیری میزان جریان هوای عبوری از سیستم UVGI، سرعت جریان هوا در ورودی وخروجی اندازه‌گیری و با اندازه‌گیری سطح مقطع کانال‌ها، میزان جریان محاسبه گردید. که نتایج در جدول ۲ خلاصه شده است.

جدول ۲ – نتایج اندازه گیری سرعت و میزان هوای عبوری از سیستم

نوع آزمایش / محل نمونه برداری	سرعت (m/s)	سطح مقطع (cm^2)	میزان جریان هوا (m^3/h)
کانال ورودی	۰/۵	۱۳ × ۱۳	۳۱/۵۹
کانال خروجی	۰/۴۸	۱۳ × ۱۳/۵	۳۰/۳۳

با داشتن حجم محفظه ای که لامپ‌ها در آن نصب شده‌اند و نیز این جریان هوا، زمان ماند میکروارگانیزم‌ها در سیستم مشخص می‌شود که این عدد برای دستگاه مورد مطالعه ۰/۶ ثانیه می‌باشد. مقدار مطلوب این عدد به دوز مورد نیاز برای نابودسازی میکروارگانیزم مورد نظر که خود نیز تابع شدت تابش UV است، بستگی دارد. به عبارت دیگر هرچه شدت تابش UV کمتر باشد زمان تماس بیشتری برای تأمین دوز مورد نیاز، لازم می‌باشد.

کیفیت میکروبی جریان ورودی و خروجی سیستم

برای ارزیابی عملکرد سیستم در نابودسازی میکروارگانیزم‌ها، از ورودی و خروجی آن نمونه‌برداری و آزمایش شد.

پس با داشتن کیفیت میکروبی جریان هوای ورودی و خروجی، درصد غیرفعال سازی یا کشتن میکروارگانیزم‌ها محاسبه گردید. جدول ۳، میانگین درصد غیرفعال سازی میکروارگانیزم‌ها را نشان می‌دهد.

تولید ازن توسط لامپ‌های UVGI

باتوجه به اینکه براساس جدول ۱ طول موج غالب پرتو UV تولیدی توسط لامپهای دستگاه مورد مطالعه ۲۵۳/۷nm است، و از طرف دیگر طول موج غالب UV برای تولید ازن ۱۸۰nm است، احتمال تولید ازن توسط این دستگاه منتفی است. ولی باتوجه به اینکه امکان اندازه‌گیری تابش UV تولیدی میسر نبود، احتمال تولید ازن توسط دستگاه در هوای ورودی و خروجی بررسی شد. نتایج حاصل از همه نمونه‌ها نشان می‌دهد که در تمامی تکرارها میزان ازن در ورودی وخروجی سیستم زیرحد تشخیص روش مورد استفاده (۰/۰۱ppm) می‌باشد.

بحث:

همانگونه که در جدول ۲ مشخص است مقدار عددی میزان جریان در خروجی کمتر از ورودی است. دلیل این امر، کاهش سرعت جریان در خروجی به علت افت فشار در اثر عبور هوا از داخل دستگاه می‌باشد. بنابراین میزان جریان هوای قابل گندزدایی توسط این دستگاه به طور متوسط $30 m^3/h$ می‌باشد. به عبارت دیگر اگر این دستگاه داخل یک اتاق با ابعاد ۳m×۴m×۲/۵m نصب شود یک ساعت طول می‌کشد تا یکبار کل هوای اتاق از داخل دستگاه عبور کرده و گندزدایی شود. از طرفی مرکز پیشگیری و کنترل بیماری‌ها[1] (CDC) توصیه می‌کند به طور مثال برای اتاق‌ها ایزوله و درمان توبرکلوزیس در تسهیلات مراقبت‌های بهداشتی بایستی حداقل ۶ بار عبور هوا از داخل سیستم در هر ساعت[2] (ACH) داشته باشد. بنابراین، چنین سیستمی برای این منظورکفایت نمی‌کند. براین اساس میزان جریان قابل گندزدایی توسط سیستم‌های UVGI برای تعیین تناسب آن برای هدف مورد نظر بسیار مهم و حیاتی است.

همچنین، همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود واحد UVGI مدل تک ایستا بطور متوسط توانایی نابودسازی ۹۲/۵ درصد از میکروارگانیزم‌های جریان هوای ورودی را دارد که معادل حدود یک log کاهش درمیکروارگانیزم‌ها است. این درصد کشندگی برای اتاق‌های کار و اتاق‌هایی که افراد معمولی از نظر شرایط ایمنی بدن فعالیت دارند کفایت می‌کند اما برای شرایط ویژه از جمله اتاق های ایزوله و اتاق‌های بیماران دچار

[1] - Center for Disease Control
[2] - Air changes per hour

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳ – خلاصه نتایج درصد غیرفعال سازی میکروارگانیزمها بعد از عبور از واحد UVGI تک ایستا

شماره نمونه / پارامتر	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	میانگین	انحراف معیار
کیفیت میکروبی ورودی (cfu/m^3)	۱۲۷	۵۶	۴۱	۵۴۸	۷۳	۲۲	۵۰	۲۲	۵۸	۴۴	–	–
کیفیت میکروبی خروجی (cfu/m^3)	۶	۶	۰	۶۸	۹	۱	۵	۲	۰	۵	–	–
میانگین غیرفعال سازی میکروبها (٪)	۹۵	۸۹	۱۰۰	۸۸	۸۸	۹۵	۹۰	۹۱	۱۰۰	۸۹	۹۲/۵	۴/۷
دمای ورودی (^oC)	۲۶	۲۵	۲۹	۲۶	۲۶	۲۶	۲۷	۲۷	۲۸	۲۹	۲۷	۱/۳۳
دمای خروجی (^oC)	۳۷	۳۷	۴۰	۳۵	۳۵	۳۷	۳۶	۳۶	۳۹	۳۹	۳۷	۱/۸۲

نقص ایمنی مناسب نیست و راندمان کاهش کافی نیست. البته کفایت سیستم به تعداد میکروارگانیزم‌های اولیه بستگی دارد.

مقادیر عددی دمای جریان هوای ورودی وخروجی در جدول ۳ درج شده است. مشخص است میانگین دمای ورودی و خروجی به ترتیب۲۷ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد است. آزمون آماری t زوج نشان می‌دهد که تفاوت میانگین دو دما از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد (t=-38.7). لذا عملکرد و فعالیت دستگاه UVCI باعث تولید گرما و درنتیجه افزایش دمای هوای خروجی به میزان ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که این خود باعث گرم شدن فضای محل نصب دستگاه و درنتیجه مصرف انرژی بیشتر برای خنک کردن و تعدیل دمای آن فضا می‌گردد. بنابراین یکی از مشکلات این دستگاه که مربوط به طراحی نادرست آن می‌باشد، افزایش دمای جریان هوای عبوری می‌باشد. البته این افزایش دما از نظر کاهش رطوبت جریان هوای عبوری و افزایش کارایی تابش فرابنفش بر میکروارگانیزم‌ها مثبت تلقی می‌گردد.

از طرف دیگر براساس استاندارد OSHA حد مجاز تماس (PEL)، ازن معادل ۰/۱ppm است (۱۵). لذا براساس نتایج بدست آمده و مقایسه با استاندارد OSHA، سیستم مذکور و لامپهای UV مورد استفاده باعث تولید ازن نمی‌شود. بنابراین دستگاه مورد مطالعه ازن ساز نبوده و از این نظر مطمئن می‌باشد.

در سال ۲۰۰۲، Ko و همکارانش از سیستم UVGI نصب شده روی دیوار و سقف اتاق برای کاهش غلظت سراشیا و باسیل مایکو باکتریوم بویس در محل‌های سر بسته استفاده نمودند. نتایج نشان داد که این سیستم قادر به کاهش ۴۶٪ سراشیا در ۲ACH و ۵۳٪ در ۶ACH می‌باشد. همچنین اثر بخشی UV در غیرفعال سازی مایکو باکتریوم در ۶ACH معادل ۵۲٪ بدست آمد (۱۶). در مطالعه دیگری که توسط Ko و همکارانش در سال ۲۰۰۱ انجام شد، کارایی UVGI نصب شده در سقف برای کاهش خطر توبرکلوزیس در اتاق‌های انتظار مدل سازی شد. نتایج کاربرد مدل کاهش ۱،۶ برابر و ۴،۱ برابر در خطر توبرکلوزیس به ترتیب در شدت تابش UV معادل ۳ و ۱۵ میکرووات بر سانتیمتر مربع را نشان داد (۱۷). در مطالعه‌ای دیگر، کارایی چهار نوع سیستم UVGI تجاری مورد مطالعه قرار گرفت. به این منظور از چهار باکتری اشرشیا کلی، میکروکوکوس لوتئوس، سودوموناس فلوروسنس، استافیلوکوکوس اورئوس و اسپور باسیلوس سابتیلیس استفاده شد. کارایی میکروب‌کشی هر چهار نوع سیستم مطالعه شده در حذف باکتری‌ها و اسپور باسیلوس سابتیلیس به ترتیب بیش از ۹۹٪ و متوسط ۷۵٪ به دست آمد (۳).

از مقایسه نتایج بدست آمده از این تحقیق با سایر مطالعات مشخص می‌شود که سیستم UVGI یک روش تکمیلی مناسب و اقتصادی برای غیرفعال سازی میکروارگانیزم‌های موجود در هوای داخل می‌باشد. البته برای هر محل بسته به نوع فعالیت انجام شده در آن بایستی شدت تابش مشخصی به کار برده شده تا گندزدایی مؤثر حاصل گردد.

اگر چه سیستم UVGI سال‌ها است که به گندزدایی برای کاهش جمعیت میکروبی موجود در هوا استفاده میشود، ولی داده‌های کمی در مورد حساسیت پذیری گونه‌های میکروبی و نیز سودمندی واحدهای UVGI تجاری عرضه شده به این منظور در دسترس است. این مسئله محقق را بر آن داشت تا عملکرد یکی از سیستم‌های UVGI تجاری که بطور گسترده استفاده می‌شود را بررسی نماید. نتایج نشان داد که میانگین میزان غیرفعال سازی میکروارگانیزم‌ها در سیستم مورد آزمایش ۹۲/۵ درصد است. کفایت این سیستم برای کاربرد در گندزدایی

www.SID.ir

Archive of SID

هوا به حجم هوای محل نصب (شاخص ACH) و نوع کاربری محل و نیز نوع فعالیت انجام شده در آن بستگی دارد. البته با انتخاب مواد با قابلیت انعکاس بالاتر برای پوشش سطح داخلی محفظه دستگاه مثل آلومینیوم صیقل داده شده، PTFE و اسپکترالون که باعث افزایش شدت تابش UV می‌شود و نیز طراحی سیستم متناسب با شرایط محل کاربرد، کارایی سیستم در حذف میکروارگانیزم‌ها افزایش یافته و آن را به عنوان یک روش بسیار مؤثر در کاهش میکرو ارگانیزم‌های منتقله از هوای محل‌های داخلی مطرح می‌سازد.

References:

1- Kowalski WJ. UVGI systems for air and surface disinfection. IUVA News 2001; 3(5): 4-7.
2- Navdell EA. Indoor Air Quality. Mc Graw-Hill; 2002: 525-7.
3- Green CF, Scarpino PV. Use of UVGI in disaffection of air borne bacteria. Environ Eng Policy 2002, 3: 101-7.
4- Tchobanoglous G, Emerick R, Loge F. Recent Development in UV Disaffection. University of California, Davis, CA: 2001: 12-8.
5- White GC. Handbook of Chlorinating and Alternative disinfectants 3rd. VNR; 1992, 1230-5.
6- Centers for Disease Control and Prevention. Guidelines for preventing the transmission of *Mycobacterium tuberculosis* in health care facilities. MMWR 43, 1994, No. RR-13: 132.
7- Kowalski WJ. Design and Optimization of UVGI Air Disaffection systems [Ph.D Thesis]. The Pensylvania State University; 2001.
8- Russell Scott. Introduction to Air disinfection. John wiley, 2000: 125-31.
9- Kane BE. Efficiency of Bacterial Disaffection by a Duct Mounted UV-Air Purifier, Sanitary and Environmental microbiology, Ph.D. 2001.
10- Kowalski WJ. Mathematical Modeling of UVGI for Air Disinfection. Quantitative Microbiol 2002; (2): 249-70.
11- Topley. Wilson's Microbiology and Microbial Infections. 9 th ed. ARNOLD; 1998: 128.
12- Schwartz T. UV light affects cell membrane and cytoplasmic targets, J Photo Chem Photobiol B: Biol. 1998; 44: 91-6.
13- Kowalski WJ, Bahnfleth WD. UVGI Design Basic for Air and Surface Disaffection. The Pennsylvania State University; 2000 PA 10802: 3-11.
14- Lodge JP. Methods of Air Sampling and Analysis. 3rd ed. LEWIS. Inc; 1989: 530-45.
15- National Institute for Occupational Safety and Health. Criteria for a recommended standard occupational exposure to ultraviolet radiation.1972. Cincinnati, Ohio, Publication No. HSM73- 11009, 215-23.
16- Ko G, Burge HA.The characterization of upper- Rome ultraviolet germicidal irradiation in inactivating airborn microorganisms. Environ Health Prospect 2002; 110(1): 95-101.
17- Ko G, Burge HA, Nardell EA, et al. estimation of tuberculosis risk and incidence under upper-Rome in a hypothetical scenario. Risk Anal 2001; 21(4): 657-73.

www.SID.ir