بررسی تحلیلی و زیستی دستگاه طراحی‌شده ضدعفونی‌کننده کتاب به‌کمک اشعه فرابنفش

INC29-1166

حامد زمانیان[۱]، امیر چخماچی دوم[۱]، نیکو دارستانی فراهانی[۱]، رامسینا بت‌عیشو[۲]، مهگام قیدی[۱]، سید رضا شفاعی[۱]، علی علی محمدی[۱]، خدیجه قطبی کهن[۲]، حسن اکبری[۲]

۱. پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کد پستی ۱۴۳۹۹۵۵۹۳۳، تهران، ایران
۲. پژوهشکده کار با پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کد پستی ۱۴۳۹۹۵۵۹۳۳، تهران، ایران

چکیده:

دستگاه استریل کننده کتاب با استفاده از اشعه UV وسیله‌ای بسیار ایمن و با کارایی بالا برای ضدعفونی کتاب‌ها در کتابخانه‌های عمومی، مدارس، مساجد، مراکز اسناد و ادارات است. در طراحی این دستگاه سیستم گردش هوا و اوزون تولیدی موجب تورق کتاب‌ها و رسیدن نور فرابنفش به تمامی قسمت‌های داخلی کتاب و ضدعفونی کامل آن‌ها می‌شود. در این مقاله، باهدف ارزیابی عملکرد سامانه پرتویی طراحی و پیاده‌سازی شده، اثر عامل‌های مختلف حاصل از آن بر ویروس‌ها، باکتری‌ها، و قارچ‌های تشکیل‌شده در کتاب‌ها و المان‌های مورداستفاده در کتابخانه‌های عمومی و مراکز اسناد موردبررسی قرار گرفته است. آزمایشات تجربی و اندازه‌گیری‌های رسمی نشان می‌دهند که سامانه ازنظر خطر نشت اشعه فرابنفش و نیز نشت گاز ازون ایمن است. از سوی دیگر اندازه‌گیری‌های ناشی از پرتودهی و کشت چهار اسپور از باکتری‌ها و قارچ‌های مرسوم به ازای زمان‌های پرتودهی متفاوت، نشان داد که سامانه به‌صورت میانگین توانایی ضدعفونی با درجه Log-۶ را دارد. همچنین بیشینه توان ضدعفونی دستگاه در زمان پرتودهی ۱۵ دقیقه بیش از Log-۸ به ثبت رسید.

کلیدواژه‌ها: ضدعفونی، اشعه UV، گردش هوا، باکتری، اوزون

Analytical and biological assessment of the designed Book sterilization system by using UV ray

H. Zamanian[1], A. Chakhmachi Dovvom[1], N. Darestani Farahani[1], R. Bateishoo[2], M. Gheidi[1], S.R. Shafaei[1], A. Alimohammadi[1], K. Ghotbi Kohan[2], H. Akbari[2]

1. Plasma Physics and Nuclear Fusion School, Nuclear Sciences and Technology Research Institute, 1439955933, Tehran, Iran
2. Radiation application School, Nuclear Sciences and Technology Research Institute, 1439955933, Tehran, Iran

Abstract:

The book sterilization system by UV ray is a so safe and with high performance to disinfect hard-copy books in general libraries, schools, mosques, document centers and offices. In this design, the circulating system for the air and the generated ozone causes to flipping the books and reaching the ultraviolet light to all internal parts of the books and completely disinfecting them. In this paper, with aiming to evaluate the performance of the designed and implemented beam system, the influence of its different factors is assessed on the accumulated viruses, bacteria, and fungi on books and utilized elements in the general libraries and document centers. The experimental tests and standard measurements show that the system is safe from the risk of UV radiation and ozone gas leakage. Apart from that, measurements due to irradiation and cultivation of four spores of conventional bacteria and fungi for different irradiation times showed that the plant yields the average ability of disinfection with 6-log degree. Also, the maximum disinfection power of the system recorded more than 8-Log, during 15 minutes irradiation time.

Keywords: disinfection, UV ray, Air Circulation, Bacteria, Ozone

۱. مقدمه

کتاب‌ها و منابع موجود در کتابخانه‌ها در دست هزاران نفر دست‌به‌دست می‌شوند، لذا می‌توانند محل مناسبی برای تجمع انواع ویروس، باکتری و قارچ باشند. همچنین گذشت زمان و شرایط محیطی نامناسب می‌تواند بستر رشد قارچ، باکتری و ویروس را برای کتاب‌ها فراهم نماید. کتاب‌ها و نسخه‌های خطی دارایی‌های باارزش کتابخانه‌ها محسوب می‌شوند [۱]. انواع مختلفی از باکتری، ویروس، باسیل کولون، گردوغبار، قارچ یا باکتری‌های عفونی بر روی کتاب‌های موجود در کتابخانه‌ها وجود دارد. مواد شیمیایی مانند آمونیاک، فرمالدئید یا زایلن که در طی ساخت کتاب تولید می‌شوند سرطان‌زا هستند. کتاب‌های قدیمی زیستگاه کرم‌های کتاب هستند که طول عمر کتاب را کوتاه می‌کنند و منجر به مشکلات پوستی برای افراد می‌شود. کاغذ اصلی‌ترین ماده تشکیل‌دهنده کتاب است و گیاهان سلولزی اساس صنعت کاغذسازی را تشکیل می‌دهند. مشخصه قارچ‌ها، توانایی آن‌ها در تولید آنزیم‌های فراوان است [۲]. این آنزیم‌ها مواد آلی را به مواد ساده‌تری تجزیه می‌کنند. مهم‌ترین آنزیم‌ها پروتئیناز و لیپاز و همچنین سلولز هستند، به‌ویژه آنزیم سلولاز که پیوندهای مولکول سلولز را می‌شکنند تا نتیجه نهایی گلوکز باشد که ماده ضروری تغذیه قارچ است [۳]. وجود رطوبت، تاریکی و دمای نامناسب در اکثر کتابخانه‌ها، کتاب‌ها و اسناد را در معرض حمله بسیاری از آفت‌ها و حشرات مانند کنه‌ها و موریانه‌ها و برخی از گونه‌های باکتری‌ها مانند استافیلوکوک‌ها قرار می‌دهد. قارچ‌ها از گیاهان به‌عنوان یک منبع کربن برای رشد استفاده می‌کنند و منجر به آسیب دیدن کتاب‌ها، اسناد و نسخه‌های خطی در کتابخانه‌ها می‌شوند و در برخی موارد این اسناد ارزشمند و غیرقابل جایگزین هستند. قارچ‌ها و به‌ویژه اسپورهای آسکومیست‌ها، اومیست‌ها و زیگومیست‌ها از طریق هوا یا از طریق دست و لباس افراد در کتابخانه‌ها، به‌وسیله هاگ‌های قابل‌حمل می‌توانند خود را به کتاب‌ها برسانند و هنگامی‌که در یک مکان مرطوب قرار بگیرند، شروع به رشد و تکثیر نماید [۴].

نور نوعی انرژی الکترومغناطیسی است که هرچه طول‌موج آن کوتاه‌تر باشد، میزان انرژی ساطع‌شده از آن بیشتر است. تابش فرابنفش، به‌عنوان بخشی از طیف الکترومغناطیسی بین اشعه ایکس و نور مرئی یعنی بین ۴۰ تا ۴۰۰ نانومتر (۳ -ev۳۰) تعریف می‌شود. تابش فرابنفش با طول‌موج ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر است که از نور مرئی (۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) کوتاه‌تر است و از اشعه ایکس (کمتر از ۱۰۰ نانومتر) بلندتر است. تابش اشعه فرابنفش به پنج ناحیه طیفی مجزا شامل UV خلأ (۴۰ تا ۱۹۰ نانومتر)، UV دور (۱۹۰ تا ۲۲۰ نانومتر)، UVC (۲۲۰ تا ۲۹۰ نانومتر)، UVB (۲۹۰ تا ۳۲۰ نانومتر) و UVA (۳۲۰ تا ۴۰۰ نانومتر) مطابق شکل (۱) تقسیم می‌شود [۵]. مکانیسم غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها با اشعه فرابنفش موجب آسیب رساندن به ماده ژنتیکی در هسته سلول یا اسیدهای نوکلئیک موجود در ویروس است [۶]. طیف UVC، به‌ویژه در محدوده ۲۵۰-۲۷۰ نانومتر، به‌شدت توسط اسیدهای نوکلئیک میکروارگانیسم‌ها جذب می‌شود لذا، کشنده‌ترین محدوده طول‌موج برای میکروارگانیسم‌ها است. این محدوده، با ۲۶۲ نانومتر حداکثر طول‌موج میکروب‌کش است که به‌عنوان طیف میکروب‌کش شناخته می‌شود [۷].

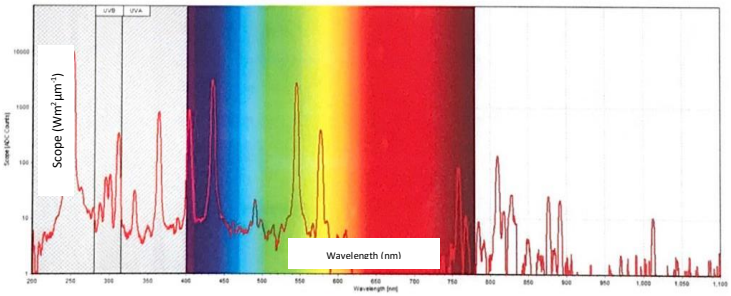
در میان منابع اشعه UVC ساخته‌شده توسط انسان، متداول‌ترین آن‌ها لامپ‌های تخلیه گاز است. برای مدت‌زمان طولانی، لامپ‌های بخار جیوه مهم‌ترین منابع این تابش در بازار لامپ اشعه فرابنفش بودند. اکنون، آخرین پیشرفت‌های فن‌آوری LED، موجب ارائه LED های UVC به‌عنوان ضدعفونی‌کننده، به‌ویژه در محدوده ۲۶۰ تا ۲۸۰ نانومتر شده است. اگرچه LED های UVC هنوز هم به‌عنوان منابع UVC نسبتاً گران و پرمصرف هستند، اما در حال حاضر می‌توان از آن‌ها در سیستم‌های ضدعفونی‌کننده با طراحی مناسب استفاده کرد. از نقاط قوت مهم UVC LED، کوچک بودن، استحکام، کنترل بهتر جریان گرما و تنظیم دقیق طول‌موج است. در مقایسه با ضدعفونی‌کننده‌های شیمیایی، اشعه فرابنفش هیچ ماده شیمیایی مضر یا فرآورده فرعی بر جای نمی‌گذارد؛ بنابراین می‌تواند در کاربردهای مختلفی مانند ضدعفونی آب، هوا و سطوح استفاده شود. طول‌موج بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ نانومتر به‌شدت توسط اسیدهای نوکلئیک جذب می‌شود و باعث ناتوانی آن‌ها در رشد و تکثیر می‌شود [**Error! Bookmark not defined.**]. تمام دستگاه‌های ضدعفونی‌کننده کتاب از اشعه UVC برای استریل کردن کتاب‌ها استفاده می‌کنند. میزان انرژی تابشی اشعه فرابنفش بر میکروارگانیسم‌های در معرض آن، نقش تعیین‌کننده‌ای در غیرفعال‌سازی آن‌ها دارد. برای تعیین مقدار تابش اشعه

فرابنفش، کمیت‌های رادیومتری متعارف مختلفی وجود دارد: توان تابشی (شار تابشی) منبع UV، که انرژی تابشی ساطع‌شده در واحد زمان (W) است. ایرادیانس، که توان جذب‌شده توسط سطح در واحد سطح (w/m^2) است و نمایه تابشی، که انرژی تابشی است که توسط یک سطح (J/m^2) دریافت می‌شود و دوز UV نیز نامیده می‌شود، که برای درک مکانیسم‌های UVGI بسیار مهم است. در آزمایش‌های ضد میکروبی، اصطلاح کاهش لگاریتمی استفاده می‌شود، که به مقدار تغییر در تعداد میکروارگانیسم غیرفعال یا کشته‌شده اشاره دارد. کاهش log3 به این معنی است که تعداد میکروارگانیسم‌های موجود در یک نمونه با فاکتور ۱۰۰۰ کاهش‌یافته و تنها ۰/۱٪ از تعداد اولیه پس از قرار گرفتن در معرض دوز خاص UV باقی‌مانده است. میکروب‌های مختلف حساسیت‌های مختلفی نسبت به UVGI دارند لذا به دوزهای مختلف تابش برای غیرفعال شدن نیاز دارند.

از طرفی ویروس‌ها، باکتری‌ها و بیشتر آلاینده‌های موجود در هوا دارای بار مثبت هستند. غلظت بالای ذرات باردار مثبت باعث می‌شود که انسان دچار تنگی نفس و گرفتگی قلب شود. بنابراین حضور یون‌هایی با بار منفی می‌تواند راهگشا باشد. چراکه این یون‌های منفی توسط ذرات معلق در هوا جذب می‌شوند. ولتاژ بالا و اشعه ماورا بنفش ازجمله روش‌های یونیزاسیون هستند. این فرآیند باعث می‌شود ذرات معلق در هوا سنگین‌تر شود و دیگر قابل‌تنفس نباشند؛ بنابراین می‌توان ذرات یونیزه شده را توسط فیلترها و فن‌های پرقدرت تصفیه کرد.

۲. روش کار

ساختار اصلی و متعلقات سامانه در داخل یک رک استاندارد تعبیه شده است. رک مدنظر باقابلیت نگه‌داری هم‌زمان ۹ جلد کتاب مجهز به لامپ‌های UV با توان ۳۰ وات طراحی‌شده و فعالیت آن، بر اساس سیستم تایمر نصب‌شده کنترل می شود. در این فرآیند، طبق محا سبات انجام شده، برحسب مدت‌زمان لازم برای استرلیزاسیون، در طول به‌کارگیری تایمر، لامپ‌های UV پرتودهی نموده و به‌طور هم‌زمان، فن‌های تعبیه‌شده به تورق کتاب‌ها تا جای ممکن می‌پردازند. پرتوی تابیده‌شده، برای بازه زمانی ۳۰ ثانیه‌ای، توانایی از بین بردن میکروارگانیسم‌های موجود تا حد قابل قبولی را دارد. فن مورداستفاده نیز، گردوغبار و سایر آلودگی‌های میکروبی موجود در کتاب‌ها را جدا نموده و از طریق فیلتر تعبیه‌شده از مجموعه جدا می‌نماید. تمام فضای داخلی محفظه به نحوی بسته‌شده که از نشت هرگونه اشعه فرابنفش و یا گاز اوزون به بیرون جلوگیری نماید. شکل (۱) شمای کلی دستگاه ساخته‌شده را نشان می‌دهد. شکل (۲) مشخصه طیفی دستگاه را در یک‌فاصله ۵ سانتی‌متری از مرکز دستگاه نشان می‌دهد.



شکل ۱. شمای کلی دستگاه ضدعفونی‌کننده کتاب به **شکل ۲.** مشخصه توزیع طیفی دستگاه در فاصله ۵ سانتی‌متری از محور وسط و طبقه دوم کمک UV

دستگاه از دو بخش داخلی و خارجی تشکیل شده است. بخش داخلی دستگاه، شامل قسمت فرمان، فن جریان هوا، طبقات نگهدارنده کتاب و فیلتر هوای جاذب تشکیل شده است. بخش خارجی آن، شامل بورد تنظیم مدت‌زمان عملکرد دستگاه و شاسی روشن شدن دستگاه است. این دو قسمت به‌وسیله یک قفل interlock برای امکان فعالیت دستگاه باهم مرتبط می‌شوند. منبع تغذیه، ولتاژ لازم جهت فرمان روشن شدن فن، لامپ‌های UV و کنتاکتور وصل ولتاژ ۲۲۰ ولت

را فراهم آورده و تا جریان ۱۰ آمپر موردنیاز آن‌ها را تأمین می‌کند. مدار کنتاکتور ولتاژ اصلی سیستم هم در همین فضا جایابی شده تا از هرگونه اتصال و بروز خطری برای کاربر دور بماند.

۳. نتایج و تحلیل

ارزیابی و آزمون این سیستم طراحی‌شده شامل ارزیابی سطح استرلیزاسیون دستگاه درازای چند نمونه اصلی رایج قارچ و باکتری و در ۴ بازه زمانی متفاوت است. این معیار آزمون، امکان ارائه یک الگوی عملکردی و کارایی از دستگاه در اختیار قرار می‌دهد. دو باکتری E. coli ATCC 10536 و S. aureus ATCC 33591 در فرم رویشی و باکتری B. cereus ATCC 14579 در فرم اسپور و کونیدی‌های قارچ A. niger IBRC 30064 برای بررسی عملکرد ضدعفونی‌کنندگی دستگاه مورداستفاده قرار گرفتند. میکروارگانیسم‌های مورداستفاده به‌صورت کشت فعال از مرکز ملی ذخایر ژنتیکی و زیستی ایران خریداری شدند. به‌منظور بررسی قدرت رویش میکروارگانیسم‌ها، تجدید کشت باکتری‌ها بر محیط کشت Tryptic Soy Agar و برای سویه قارچی بر Sabouraud Dextrose Agar انجام شد. دما گذاری E. coli S. aureus در ۳۷ درجه سانتی‌گراد، B. cereus در ۳۵ درجه سانتی‌گراد و A. niger در ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت انجام شد. به‌منظور تهیه سوسپانسیون فعال و تازه، یک تا دو کولنی از کشت فعال E. coli و S. aureus به محیط کشت Tryptic Soy Broth منتقل و ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد دما گذاری شد.

به‌منظور تهیه سوسپانسیون اسپور از B. cereus ، کشت ۵ روزه باکتری بر سطح Tryptic Soy Agar با کمک رینگر استریل (باقدرت ۱/۴ محتوی ۰٫۱٪ توئین ۸۰) شسته شد و برای از بین بردن باکتری‌های رویشی به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب ۸۰ درجه سانتی‌گراد گذاشته شد. رسوب محتوی اسپور پس از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ، با دور 3000 rpm از مایع رویی جدا و سوسپانسیون اسپور جدید مجدداً در همان محیط کشت تهیه شد. برای تهیه سوسپانسیون کونیدی A. niger کشت ۷ روزه قارچ بر سطح Sabouraud Dextrose Agar با کمک رینگر استریل (باقدرت ۱/۴ محتوی ۰٫۱٪ توئین ۸۰) شسته شد. میسلیوم‌های قارچ با رد کردن سوسپانسیون از میان پشم‌شیشه استریل از اسپورهای آن جدا شد. رسوب محتوی اسپور پس از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ با دور rpm3000 از مایع رویی جدا و سوسپانسیون اسپور جدید در رینگر استریل تهیه شد [۹]. کدورت سوسپانسیون‌های تهیه‌شده از باکتری‌ها و قارچ با اسپکتروفوتومتر در OD برابر 600 nm بین ۰٫۰۸ تا ۰٫۱ تنظیم شد.

پس از اتمام آزمون، به‌منظور دما گذاری برای رشد میکروارگانیسم‌های زنده بقایافته در هر تیمار، پلیت‌ها به انکوباتورهای مناسب انتقال داده شدند. پلیت‌های محتوی کشت باکتری‌های E. coli و S. aureus در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، B. cereus در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و A. niger در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد دما گذاری شدند. دما گذاری حداقل ۲ و حداکثر ۵ روز یعنی تا زمان مشاهده رشد متوسط و قابل‌شمارش هر میکروارگانیسم ادامه یافت [۱۰]. تعداد میکروارگانیسم‌های زنده قابل رشد که از تماس با اشعه UV و اوزون بقا یافته بودند در هر پلیت شمارش شد. نتایج شمارش میکروارگانیسم‌ها و مقایسه با نمونه‌های شاهد برای هر چهار مورد به‌صورت جداول (۱) و (۲) گزارش شده است.

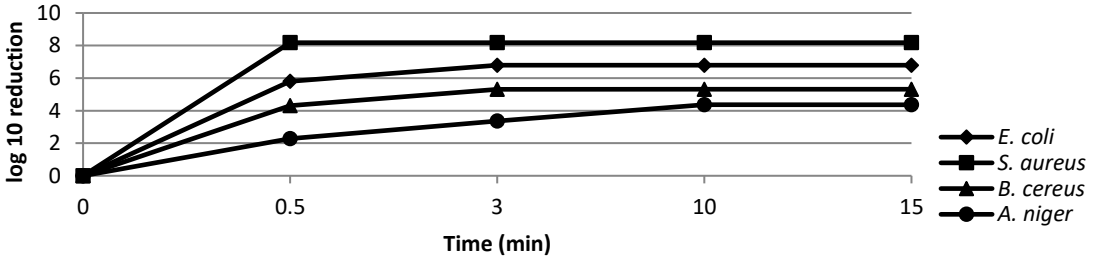
جدول ۱. تعداد سلول‌های رویشی E. coli و S. aureus قبل و بعد از قرارگیری در سامانه اشعه UV و اوزون

S. aureus ATCC33591					ATCC10536 E. coli					
درصد کاهش CFU	لگاریتم تعدادCFU کاهش‌یافته	کاهش تعداد CFU	CFU بعد از تماس	CFU اولیه	درصد کاهش CFU	لگاریتم تعدادCFU کاهش‌یافته	کاهش تعداد CFU	CFU بعد از تماس	CFU اولیه	زمان تماس (دقیقه)
–	-	–	–	$۱٫۵\times۱۰^{۸}$	-	–	–	–	$۶٫۲\times۱۰^{۶}$	شاهد
۹۹٫۹۹	۸٫۲	$۱٫۵\times۱۰^{۸}$	$۱٫۲\times۱۰^{۲}$	$۱٫۵\times۱۰^{۸}$	۹۹٫۹۸	۵٫۸	$۶٫۲\times۱۰^{۵}$	$۸٫۳\times۱۰^{۱}$	$۶٫۲\times۱۰^{۵}$	۰٫۵
۹۹٫۹۹	۸٫۲	$۱٫۵\times۱۰^{۸}$	$۱٫۶\times۱۰^{۱}$	$۱٫۵\times۱۰^{۸}$	۹۹٫۹۹	۶٫۸	$۶٫۲\times۱۰^{۶}$	$۲٫۶\times۱۰^{۱}$	$۶٫۲\times۱۰^{۶}$	۳
۹۹٫۹۹	۸٫۲	$۱٫۵\times۱۰^{۸}$	۵×۱۰^{۰}	$۱٫۵\times۱۰^{۸}$	۹۹٫۹۹	۶٫۸	$۶٫۲\times۱۰^{۶}$	$۱٫۷\times۱۰^{۱}$	$۶٫۲\times۱۰^{۶}$	۱۰
۹۹٫۹۹	۸٫۲	$۱٫۵\times۱۰^{۸}$	۰	$۱٫۵\times۱۰^{۸}$	۹۹٫۹۹	۶٫۸	$۶٫۲\times۱۰^{۶}$	$۱٫۶\times۱۰^{۱}$	$۶٫۲\times۱۰^{۶}$	۱۵

جدول ۲. تعداد اسپورهای B. cereus و کونیدی‌های A. niger قبل و بعد از قرارگیری در سامانه اشعه UV و اوزون

B. cereus ATCC 14579						A. niger IBRC30064				
زمان تماس (دقیقه)	CFU اولیه	CFU بعد از تماس	کاهش تعداد CFU	لگاریتم تعدادCFU کاهش‌یافته	درصد کاهش CFU	CFU اولیه	CFU بعد از تماس	کاهش تعداد CFU	لگاریتم تعدادCFU کاهش‌یافته	درصد کاهش CFU
شاهد	$۲,۱\times۱۰^{۵}$	-	-	-	-	$۲,۳\times۱۰^{۵}$	-	-	-	-
۰,۵	$۲,۱\times۱۰^{۴}$	$۲,۷\times۱۰^{۲}$	۲×۱۰^{۴}	۴,۳	۹۸,۷۲	$۲,۳\times۱۰^{۲}$	$۳,۸\times۱۰^{۱}$	$۱,۹\times۱۰^{۲}$	۲,۳	۸۳,۴۸
۳	$۲,۱\times۱۰^{۵}$	$۲,۱\times۱۰^{۱}$	۲×۱۰^{۵}	۵,۳	۹۰,۱۳	$۲,۳\times۱۰^{۳}$	۲×۱۰^{۱}	$۲,۳\times۱۰^{۳}$	۳,۴	۹۹,۱۳
۱۰	$۲,۱\times۱۰^{۵}$	$۲,۱\times۱۰^{۱}$	۲×۱۰^{۵}	۵,۳	۱۰۰	$۲,۳\times۱۰^{۴}$	$۱,۹\times۱۰^{۱}$	$۲,۳\times۱۰^{۴}$	۴,۴	۹۹,۹۲
۱۵	$۲,۱\times۱۰^{۵}$	۰	۲×۱۰^{۵}	۵,۳	۱۰۰	$۲,۳\times۱۰^{۴}$	$۱,۶\times۱۰^{۱}$	$۲,۳\times۱۰^{۴}$	۴,۴	۹۹,۹۳

میزان کاهش تعداد CFU محاسبه و لگاریتم تعداد کاهش‌یافته محاسبه شد. نتایج به‌صورت نمودار لگاریتم تعداد کاهش‌یافته در برابر زمان به‌صورت نمودار شکل (۲) رسم شد. آن‌چنان‌که جداول (۱) و (۲) و نیز نمودار شکل (۲) نشان می‌دهند، کارایی این سامانه جهت از غیرفعال میکروارگانیسم‌ها مشهود است. به‌طوری‌که میزان ضدعفونی‌کنندگی سامانه به‌صورت میانگین مقداری در حدود 6-Log بوده که میزان قابل‌ملاحظه‌ای در صنعت استرلیزاسیون است. همچنین واضح است میزان غیر فعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها با افزایش زمان افزایش‌یافته به‌طوری‌که برای اسپور S. aureus این میزان به بیش از 8-Log در زمان پرتودهی ۱۵ دقیقه می‌رسد.



شکل ۲. لگاریتم کاهش تعداد هرکدام از میکروارگانیسم¬های موردبررسی در زمان¬های قرارگیری در سامانه

در فرآیند کنترل میکروارگانیسم‌ها، پرتو فرابنفش با آسیب بر DNA آن‌ها باعث انتقال این آسیب به نسل بعدی آن‌ها می‌شود. مولکول DNA دارای دو رشته بسیار بلند و پیچیده است که چهار جزء ساختاری آن اطلاعات ژنتیکی را کد می‌کنند. اجزای ساختاری DNA از بازهای آلی تیمین، سیتوزین، گوانین و آدنین ساخته‌شده‌اند که با قرارگیری سلول در معرض پرتو فرابنفش، آن را جذب می‌کنند. جذب UV در جفت‌شدن دو زنجیره DNA ایجاد اختلال کرده و در انرژی‌های کم تا زیاد از اشعه، قطع‌شدن یک یا دو زنجیره DNA اتفاق می‌افتد و این موضوع باعث کاهش توانایی تکثیر DNA می‌شود. به‌این‌ترتیب از پرتو فرابنفش در از بین‌بردن میکروب‌های مضر اعم از باکتری‌ها، مخمرها، کپک‌ها، ویروس‌ها و جلبک‌ها استفاده می‌شود. اگرچه میکروارگانیسم‌ها قادر به تعمیر اشکالات به وجود آمده در ماده ژنتیکی خود می‌باشند ولی استفاده از پرتو فرابنفش می‌تواند یکی از راه‌های کنترل یا کاهش تعداد میکروارگانیسم‌ها باشد [۱۱]. در مطالعه فعلی، باکتری‌های E. coli و S. aureus با قرارگیری در معرض اشعه UV و اوزون کاهش تعداد بیشتری نسبت به دو میکروارگانیسم دیگر نشان دادند. در مقالات مشابه کاهش بیش از سه سیکل لگاریتمی در باکتری‌های رویشی بعد از ۵ دقیقه قرار گرفتن در معرض پرتو فرابنفش از فاصله سه متری گزارش‌شده است [۱۲]. درحالی‌که در مطالعه فعلی، با ۳۰ ثانیه قرارگیری در سامانه بیش از ۵ سیکل لگاریتمی کاهش تعداد در این دو باکتری مشاهده شد.

اختلاف مدت‌زمان لازم برای کاهش تعداد باکتری‌ها می‌تواند به دلیل فاصله کمتر قرارگیری میکروارگانیسم‌ها از لامپ و علاوه بر آن اثر هم‌افزایی پرتو فرابنفش با اوزون باشد.

اوزون باعث استریلیزاسیون باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی می‌شود. اوزون مولکول غیر پایداری است که به‌سرعت به O_2 تبدیل‌شده و اتم تک اکسیژن تولید می‌کند. این اتم اکسیژن با غشای سلول باکتری‌ها وارد واکنش می‌شود، به اجزای سلول حمله می‌کند. در داخل سلول علاوه بر ایجاد تغییر در بازهای آلی در اسیدهای نوکلئیک به‌کاررفته در ساختار DNA، به‌واسطه واکنش با گروه‌های تیول آنزیم‌ها باعث تخریب فعالیت آنزیمی سلولی می‌شود و به‌این‌ترتیب مانع عملکرد طبیعی سلول شده و درنهایت باعث تخریب سلول باکتری می‌شود [۱۴,۱۳].

باکتری‌های E. coli و S. aureus فقط فرم رویشی دارند که نسبت به فرم مقاوم برخی باکتری‌ها، یعنی اسپور، دارای حساسیت بیشتری در برابر تنش‌های محیطی می‌باشند. علت مقاومت بیشتر اسپور باکتریایی وجود پوشش‌های چندلایه آن شامل اگزوسپوریوم، لایه خارجی، کورتکس، غشای داخلی و هسته مرکزی آن است [۱۵]. با توجه به نمودار شکل (۲) اسپورهای B. cereus با قرارگیری در سامانه آهنگ کندتری در مقایسه با دو باکتری قبلی، نشان دادند. اوزون مانند سایر عوامل اکسیدکننده و ضدعفونی‌کننده‌های شیمیایی، باعث تخریب پوشش خارجی اسپور باکتری می‌شود و بخش داخلی اسپور باکتری را در معرض قرار می‌دهد [۱۶]. به‌این‌ترتیب گاز اوزون می‌تواند باعث تخریب سلول‌ها، غیرفعال‌سازی پروتئین‌های درون کورتکس و شکست DNA شود. پرتو فرابنفش نه‌تنها بر اتصالات DNA بلکه در تخریب غشاهای سلولی اسپورهای باسیل‌ها نیز اثر دارد. مکانیسم احتمالی در اثر هم‌افزایی پرتو فرابنفش و گاز اوزون مشابه اثر هم‌افزایی پرتو فرابنفش با گازید، بر اسپور Bacillus thuringiensis var. kurstaki (Btk) بوده است، به‌طوری‌که آسیب واردشده به دیواره سلول در اثر قرارگیری در معرض پرتو فرابنفش را باعث افزایش نفوذ گازید به داخل دیواره دانسته‌اند. نتایج دیگر غیرفعال شدن اسپورهای باسیلوس با استفاده از پرتو فرابنفش و سپس ضدعفونی‌کننده‌هایی مانند هیدروژن پراکسید اثر هم‌افزایی مشابه را نشان می‌دهند [**Error! Bookmark not defined.**]. در این پژوهش اگر هرکدام از عوامل تیمار به‌تنهایی و سپس به‌توالی مورداستفاده قرار می‌گرفت، کاهندگی و نقش هرکدام در اثر هم‌افزایی قابل‌بررسی بود. ولی به‌طورکلی نتیجه به‌دست‌آمده در خصوص کاهش بیش از ۵ سیکل لگاریتمی از اسپورهای B. cereus در ۳ دقیقه قرارگیری در سامانه در مقایسه با سایر گزارش‌ها بسیار قابل‌توجه و مناسب بود.

در مطالعه فعلی پاسخ‌های متفاوت حاصل از اسپورهای B. cereus و A. niger می‌تواند به تفاوت ساختاری آن‌ها نسبت داده شود. باوجوداینکه پوشش‌های چندلایه اگزوسپوریوم، لایه خارجی، کورتکس، غشای داخلی و هسته مرکزی اسپورهای باسیلوس چالشی را برای نفوذ گازید به داخل کورتکس و غیرفعال‌سازی اسپور ایجاد می‌کنند کونیدی‌های قارچ آسپرژیلوس علیرغم داشتن لایه‌های نازک‌تر نسبت به اسپورهای باکتریایی، با آهنگ کندتری کاهش تعداد را نشان داد. علت مقاومت بیشتر آن این است که اسپورهای قارچی معمولاً دارای پیگمان‌های ملانین هستند که آن‌ها را به تنش‌های محیطی مقاوم می‌کند. تنش‌های محیطی می‌توانند شامل پرتو فرابنفش و عوامل اکسیدکننده، اسیدها و پرتوهای گاما باشند. درحالی‌که تعدادی از اسپورها توسط این تنش‌ها غیرفعال می‌شوند بقیه به‌واسطه وجود ملانین مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهند. به‌این‌ترتیب، یک جمعیت کونیدی قارچی پاسخ ترکیبی به اشعه UV و تیمارهای شیمیایی از خود نشان می‌دهد. همچنین اسپورهای B. thuringiensis نسبت به کونیدی‌های قارچی در برابر تیمار ترکیبی پرتو فرابنفش با یک عامل اکسیدکننده (گازید) حساسیت بیشتری نشان دادند [**Error! Bookmark not defined.**]. در این مورد نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه فعلی منطبق بر سایر گزارش‌ها بوده زیرا کونیدی‌های قارچی مقاومت بیشتری نسبت به اسپورهای باکتریایی به تیمار ترکیبی پرتو فرابنفش و اوزون نشان دادند. با توجه به این‌که کاهش ۳ سیکل لگاریتمی (۰,۱٪ زنده‌مانی) به‌عنوان کاهش تعداد مناسب لامپ‌های پرتو فرابنفش در نظر گرفته می‌شود [۱۷] در مطالعه فعلی نتایج بسیار قابل قبولی به دست آمد.

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه، با طراحی و ساخت یک دستگاه ضدعفونی‌کننده کتاب، باهدف غیر فعال‌سازی ویروس‌ها، باکتری‌ها و قارچ‌های رایج در نسخه‌های چاپی با دسترسی عمومی، تلاش شد تا با ارائه آزمون‌های مختلف و تست‌های لازم پرتویی

و زیستی، میزان ایمنی کارکرد دستگاه و همچنین سطح کارایی عملکرد آن بر روی نمونه‌های تهیه‌شده موردبررسی و مطالعه قرار گیرد و یک تحلیل جامع از علت این عملکرد ارائه گردد. مشاهده شد که دستگاه پیشنهادشده می‌تواند با عملکرد مطلوب و قابل قبولی، درصد بسیار بالایی از نمونه‌های تحت پرتو را غیرفعال نماید که این درنتیجه عملکرد هم‌زمان سیستم گردش هوا، پرتو فرابنفش و همچنین اوزون تولیدی در اثر اندرکنش پرتو فرابنفش با هوای داخل محفظه دستگاه روی داد. این نتیجه می‌تواند ابزار طراحی‌شده را به‌عنوان نمونه خوبی برای به‌کارگیری در ضدعفونی و استریل سازی سطوح تحت کاربری و همچنین حفظ بیشتر سلامتی کاربران معرفی نماید.

۶. مراجع

1- AL-Hamdani AH, AL-Shammary MA, Jabbar RS. Epidemiologic Study of Opportunistic Fungi Contaminating Soil of Schools, Mosques and Hotels in Diwaniya City-Iraq. Al-Qadisiyah Medical Journal. 2007;3(4):195-208.
2- Alshibly MK, Fazil N. Survey of fungi found in books on the shelves of the libraries of the University of Qadisiyah–Iraq. InIOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019 Jul 1 (Vol. 571, No. 1, p. 012042). IOP Publishing.
3- GREAVES M. INTRODUCTION TO SOIL MICROBIOLOGY 2nd Edition (1977). M. Alexander. 467 pp. New York, Santa Barbara, London, Sydney, Toronto: John Wiley & Sons. f13. 50. In the sixteen years since the first edition of this book was published there have been many changes in soil microbiology. This second edition is therefore timely and welcome, emphasizing as it does, the increasing role of microbiology in environmental.
4- Alshibly MK. Molecular Identification of Two Species of Saprolegnia that Predominant in Diwaniyah River/Iraq and Studying Them Nutrition Preference. Journal of Global Pharma Technology. 2017;9(9):68-73.
5- Bockhold S, Foley SJ, Rainford LA, Corridori R, Eberstein A, Hoeschen C, Konijnenberg MW, Molyneux-Hodgson S, Paulo G, Santos J, McNulty JP. Exploring the translational challenge for medical applications of ionising radiation and corresponding radiation protection research. Journal of translational medicine. 2022 Dec;20(1):1-0.
6- Chang JC, Ossoff SF, Lobe DC, Dorfman MH, Dumais CM, Qualls RG, Johnson JD. UV inactivation of pathogenic and indicator microorganisms. Applied and environmental microbiology. 1985 Jun;49(6):1361-5.
7- Gurzadyan GG, Görner H, Schulte-Frohlinde D. Ultraviolet (193, 216 and 254 nm) photoinactivation of Escherichia coli strains with different repair deficiencies. Radiation research. 1995 Mar 1;141(3):244-51.
8- Reed NG. The history of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection. Public health reports. 2010 Jan;125(1):15-27.
9- Esbelin J, Mallea S, J Ram AF, Carlin F. Role of pigmentation in protecting Aspergillus niger conidiospores against pulsed light radiation. Photochemistry and photobiology. 2013 May;89(3):758-61.
10- Menetrez MY, Foarde KK, Dean TR, Betancourt DA. The effectiveness of UV irradiation on vegetative bacteria and fungi surface contamination. Chemical Engineering Journal. 2010 Mar 1;157(2-3):443-50.
11- Aisha MA, Maznah WO. Effect of ultraviolet radiation on the growth of microorganisms developing on cave wall paintings. InAIP Conference Proceedings 2018 Aug 1 (Vol. 1994, No. 1, p. 070006). AIP Publishing LLC.
12- Yang JH, Wu UI, Tai HM, Sheng WH. Effectiveness of an ultraviolet-C disinfection system for reduction of healthcare-associated pathogens. Journal of Microbiology, Immunology and Infection. 2019 Jun 1;52(3):487-93.
13- Russell AD. Similarities and differences in the responses of microorganisms to biocides. Journal of antimicrobial chemotherapy. 2003 Nov 1;52(5):750-63.
14- Song M, Zeng Q, Xiang Y, Gao L, Huang J, Huang J, Wu K, Lu J. The antibacterial effect of topical ozone on the treatment of MRSA skin infection. Molecular medicine reports. 2018 Feb 1;17(2):2449-55.
15- Nakpan W, Yermakov M, Indugula R, Reponen T, Grinshpun SA. Inactivation of bacterial and fungal spores by UV irradiation and gaseous iodine treatment applied to air handling filters. Science of the Total Environment. 2019 Jun 25;671:59-65.
16- Russell AD. Bacterial outer membrane and cell wall penetration and cell destruction by polluting chemical agents and physical conditions. Science progress. 2003 Nov;86(4):283-312.

17-Sambol AR, Iwen PC. Biological monitoring of ultraviolet germicidal irradiation in a biosafety level 3 laboratory. Applied Biosafety. 2006 Jun 1;11(2):81-7.