



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

بررسی میزان اثربخشی تابش دیودهای پرتو فرابنفش با طول موج کوتاه در حالت تابش پیوسته و ناپیوسته در کاهش غلظت باکتری اشرشیاکلاهی

الهام اسراری^{۱*}، هدیه دیهیم^۲

۱- گروه فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- گروه فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، شیراز، ایران

اطلاعات مقاله: چکیده

زمینه و هدف: استفاده از فتولیز فرابنفش در حذف آلودگی میکروبی می‌تواند استفاده از منابع آب فاضلابی را توسعه بخشد. در این پژوهش کارایی پرتو UVC-LED در حذف باکتری اشرشیاکلاهی در حالت تابش ناپیوسته در مقایسه با حالت تابش پیوسته مورد ارزیابی قرار گرفت. **روش بررسی:** به منظور انجام این تحقیق، از ۴ عدد UVC-LED با طول موج کوتاه ۱۲ MW برای تولید پرتو فرابنفش استفاده شد. LED امواجی با طول موج ۲۶۰-۲۸۰ nm ایجاد می‌کنند. فاصله قرارگیری LED نسبت به صفحات، در حدود ۰/۵ cm، ۱ cm و ۲ cm در نظر گرفته شد. به منظور بررسی اثر تابش ناپیوسته بر عملکرد UVC-LED، از فرکانس ۲ Hz و ۱ Hz استفاده شد. در این حالت در هر ثانیه منبع تغذیه به ترتیب ۲ و ۱ بار وصل می‌شود. متغیرهای زمان تابش (t) بر حسب s، فاصله تابش (d) بر حسب cm و فرکانس تابش (f) بر حسب Hz جهت ارزیابی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در حالت تابش ناپیوسته، با افزایش زمان تابش، اثرگذاری افزایش یافته و عملاً در زمان‌های بالای ۲۸۰ s هیچ باکتری در نمونه‌ها باقی نماند. در فواصل تابش ۱ cm، ۰/۵ cm، صفر و همچنین زمان تابش ۲۰ s، عملکرد روش تابش ناپیوسته نسبت به تابش پیوسته در حذف باکتری ضعیف‌تر بود. بعد از زمان تابش ۲۸۰ s در فاصله ۲ cm، میزان حذف باکتری در تابش ناپیوسته با میزان حذف باکتری در تابش پیوسته برابر لگاریتم حذف ۶ یا ۹۹/۹۹۹۹ درصد می‌شود.

نتیجه‌گیری: کارایی تابش ناپیوسته در مقایسه با تابش پیوسته از قدرت عملکردی خوبی برخوردار است.

۱۴۰۱/۰۳/۰۷

۱۴۰۱/۰۶/۰۱

۱۴۰۱/۰۶/۰۵

۱۴۰۱/۰۶/۲۱

تاریخ دریافت:

تاریخ ویرایش:

تاریخ پذیرش:

تاریخ انتشار:

واژگان کلیدی: باکتری فاضلابی، پرتو فرابنفش، دیود نورگسیل، تابش ناپیوسته، تابش پیوسته

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

e_asrari@pnu.ac.ir

Please cite this article as: Asrari E, Deyhim H. Effectiveness of Ultraviolet-C light diode radiation using pulsed and continuous radiation in reducing the concentration of *Escherichia coli*. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;15(2):345-60.

مقدمه

گندزدایی و کاهش عناصر میکروبی، از مهمترین مراحل سبک‌سازی فاضلاب جهت استفاده مجدد است (۱). به منظور توسعه منابع آب بازیافت شده در کشاورزی و مصارف دیگری که از منابع آب فاضلابی استفاده می‌کنند، فرایند گندزدایی، تصفیه و تریق فاضلاب مهمترین مرحله است (۲). پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری، به عنوان یک منبع آب شیرین موجود به راحتی قابل دسترس بوده و قابل بهره برداری است. این پساب‌ها، می‌توانند تا حدودی از مشکلات پیش‌رو را کاهش داده و در جهت بهبود آثار مضر ورود آلاینده‌ها به محیط‌زیست و به‌خصوص منابع آبی پذیرنده، موثر واقع شوند (۳). منابع آب فاضلابی برای کشاورزی، نه تنها به عنوان منبع آبیاری، بلکه به عنوان منبع مواد مغذی محصول کشاورزی نیز شناخته می‌شوند. انتخاب راهکارهایی که کاهش مصرف و استفاده بهینه آب را در پی داشته باشد، از اولویت برخوردار است (۴).

در مطالعه Rezaie و همکاران (۲۰۲۰)، به قابلیت پرتو فرابنفش در حذف کرونا ویروس پرداخته شد و در آن بازده پرتوتابی بررسی شد که نتایج، اثر خوب پرتو فرابنفش در حذف ویروس کرونا را نشان دادند (۵). در مطالعه Narita و همکاران (۲۰۲۰)، اثر غیرفعال‌سازی میکروبی پرتوهای فرابنفش با طول موج کوتاه ۲۲۲ nm روی باکتری‌ها بررسی شد که نشان داد این طیف از تابش کارایی خوبی در حذف باکتری‌ها دارند (۶). همچنین تأثیر کارایی باکتری‌کشی UVC-LED با طول موج کوتاه بر روی سطوح مواد غذایی توسط Kim و همکار (۲۰۲۰) مورد مطالعه قرار گرفت تا نتایج پرتو فرابنفش بر روی باکتری اشرشیاکلاهی بررسی شود. نتایج نشان داد UVC-LED با طول موج کوتاه، کارایی کاملی در ضدعفونی مواد غذایی آلوده به باکتری اشرشیاکلاهی دارد (۷). Jarvis و همکاران (۲۰۱۹)، کاربرد دیودهای پرتو فرابنفش با طول موج کوتاه در گندزدایی آب آشامیدنی را بررسی کردند و نتایج نشان داد که با طراحی راکتور مناسب، به راحتی گندزدایی آب توسط دیودهای پرتو فرابنفش انجام می‌گیرد و کارایی بالایی نیز دارد (۸). Song و همکاران

(۲۰۱۶)، استفاده از UVC-LED برای ضد عفونی آب، را مورد بررسی قرار دادند و در آن مشخص شد که ضدعفونی با پرتو فرابنفش، یک فناوری موثر برای غیرفعال کردن عوامل بیماری‌زا در آب است (۹).

به علت کمبود آب طبیعی و افزایش فاضلاب شهری، استفاده از فاضلاب، به‌عنوان یک منبع جدید آب، جهت پیشبرد اهداف توسعه پایدار شهری، بسیار موثر است (۱۰). به‌همین دلیل ضرورت استفاده از شیوه‌های سریع و کم هزینه سبک‌سازی آب فاضلابی، منجر به استفاده از روش‌های تصفیه میکروبی فتولیز فرابنفش شده است که به صورت مجزا یا ترکیب با روش‌های شیمیایی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از پرتو فرابنفش در حذف آلودگی میکروبی، می‌تواند منجر به ارتقا تصفیه فاضلابی و استفاده مجدد گردد. باکتری‌های شاخص آلودگی آب و فاضلاب که به عنوان یک نمونه آلودگی در معرض تابش فرابنفش دیودی قرار می‌گیرند، می‌توانند کارایی این سیستم در حذف آلودگی‌های میکروبی فاضلابی را در سطوح اثبات نموده و همچنین در کاهش هزینه و انرژی مصرفی اولیه نیز نقش موثری از خود نشان دهند. این سیستم به علت انعطاف‌پذیری و قابلیت نصب دلخواه، امکان استفاده در برکه‌های تصفیه و همچنین سطوح گیاهی آبیاری شده با فاضلاب را در جهت حذف میکروبی خواهد داشت.

هدف از پژوهش حاضر، بررسی میزان اثربخشی تابش UVC-LED در حالت ناپیوسته و پیوسته در کاهش غلظت باکتری اشرشیاکلاهی فاضلاب است. در این مطالعه، از روش آزمایشگاهی برای پیشبرد تحقیقات استفاده می‌شود. به همین منظور نیازمند طراحی آزمایش، تهیه ابزار و روش‌های ارزیابی نتایج است. همچنین مروری بر مطالعات انجام گرفته در این ارتباط بررسی شد تا فرایند انجام آزمایش و ارزیابی نتایج تعریف شود. به منظور استفاده از نمونه باکتری‌های در معرض تابش پرتو فرابنفش، از پلیت حاوی نوترینت آگار استفاده شد. همچنین به جهت ارزیابی کارایی این روش، از باکتری اشرشیاکلاهی موجود در فاضلاب واقعی استفاده می‌شود. برای این منظور از مسیر عبور فاضلاب شهری که میزبان جریان‌های فاضلابی متعدد است و به‌صورت تصفیه

رقت‌سازی تا رسیدن به نسب ۱:۱۰۰۰۰۰ ادامه داده شد. بعد از رقت‌سازی و با در دست داشتن همه رقت‌ها، هر محلول در محیط پایه نوترینت آگار بر روی پلیت ریخته شد و از روش پورپلیت (Pour Plate Method) استفاده شد. طرز تهیه نیم مک فارلند به این صورت است که mL ۰/۵ کلرید باریوم M ۰/۴۸ در mL ۹۹/۵ اسید سولفوریک M ۰/۳۶ مخلوط شده و در مدت ۶ ماه در محیط تاریک و سربسته نگه داشته شد. به منظور بررسی کدورت مناسب، رقت‌ها با کدورت نیم مک فارلند مقایسه شد. در صورت عدم تطابق، سرم فیزیولوژیکی بیشتر و یا نمونه باکتری بیشتر اضافه شد تا به مقدار متعادل برسد. در هر وضعیت متفاوت زمانی، فرکانسی و فاصله‌ای، تعداد آزمایش مشخص شده توسط نرم‌افزار طراحی آزمایش مشخص می‌شود و سپس تعداد نمونه مورد نیاز باکتری فاضلابی، مورد کشت و آزمایش قرار داده شد.

در این مرحله، قبل از انتقال پلیت‌ها به محیط رشد در انکوباتور، عملیات تابش پرتو فرابنفش بوسیله راکتور طراحی شده انجام شد. هر پلیت براساس طراحی آزمایش نرم افزار دیزاین اکسپرت (Expert-Design) در زمان، فرکانس و فواصل مختلف، مورد تابش قرار داده شد و بعد از این تابش، پلیت‌ها وارد انکوباتور شده و تا ۲۴ h در محیط °C ۳۷ قرار داده شد. نتایج رشد باکتری‌ها در روز بعد از تابش با تعداد کلنی رشد کرده در هر رقت و پلیت، مشخص می‌کند که کارایی تابش چگونه بوده است.

در طراحی آزمایشات از روش سطح پاسخ از طرح مرکب مرکزی (CCD) در قالب مرکز وجهی استفاده شد. در حالت مرکز وجهی، حدود بیشینه و کمینه با کد سطح‌های (+) و (-) مشخص می‌شوند که در واقع تنها اطلاعاتی است که با توجه به مطالعات و ایده پژوهش، برای سطوح هر متغیر باید در اختیار نرم‌افزار آماری قرار گیرد. به این ترتیب سطح سوم به عنوان سطح صفر (۰) یا مرکزی در نظر گرفته شد که در جدول ۱ آمده است. همچنین به منظور ایجاد شرایط آزمایشی این مطالعه، از سیستمی که خود شامل اجزایی از قبیل منبع تغذیه، مدار، راکتور و نمونه باکتری است، استفاده شد.

نشده وارد آن می‌شوند، نمونه برداری انجام شد. استفاده از حالت ناپیوسته تابش فرابنفش در مقایسه با تابش پیوسته، به عنوان راهکار مهمی در توسعه ضدعفونی اشعه فرابنفش مدنظر است. زیرا با این روش ضمن استفاده از توان کافی برای غیرفعال‌سازی رشد میکروبی، معایب ناشی از هزینه انرژی نیز کاهش می‌یابد و توسعه این روش را بیش از پیش مقرون به صرفه می‌نماید. در تابش ناپیوسته امکان تغییر فرکانس تابش، نوعی انعطاف پذیری ایجاد می‌نماید تا از توان کمتر برای شدت آلودگی کمتر استفاده و از اتلاف انرژی جلوگیری کند. همچنین استفاده از UVC-LED کم‌توان با توجه به حجم و ابعاد کوچک و موثر بودن، می‌تواند اثر جدیدی در روش تابش فرابنفش برای ضدعفونی و حذف میکروبی ایجاد نماید به ویژه اینکه به صورت فرکانسی نیز از آن استفاده شود.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از روش آزمایشگاهی برای پیشبرد تحقیقات استفاده می‌شود. ابتدا باکتری مورد نظر که از انواع باکتری‌های فاضلابی اشرشیاکلاهی هستند، مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور استفاده از نمونه باکتری‌های در معرض تابش پرتو فرابنفش، از پلیت حاوی نوترینت آگار جامد استفاده شد که مقدار mL ۱۰ باکتری کشت داده شده بر روی آن قرار داده شد. مقدار باکتری بر روی هر پلیت در حدود 10^6 عدد تخمین زده می‌شود که به طور یکنواخت روی آن پخش شدند. باکتری مورد نیاز برای محلول نیم مک فارلند باکتری، از نمونه‌های باکتری اشرشیاکلاهی کشت داده شده رودخانه سیاهرود تهران در آزمایشگاه تهیه شد. سپس با بررسی طیف رنگی آن با دستگاه اسپکتوفتومتری، برای رقت‌سازی آماده شد. سپس برای تهیه رقت‌های مورد نیاز بر روی پلیت‌ها، به این ترتیب عمل شد که ابتدا mL ۱ محلول نیم مک فارلند باکتری از برند میرمدیا را در mL ۹ سرم فیزیولوژی حل کرده و در ادامه mL ۱ از این محلول جدید با mL ۹ سرم فیزیولوژی مخلوط و در شیشه جداگانه ریخته شد. در مرحله بعد، mL ۱ از این محلول شیشه جدید برداشته و با mL ۹ محلول فیزیولوژی مخلوط کرده و این عمل

جدول ۱- فاکتورهای کمی (الف) و کیفی (ب) آزمایش

(الف)

فاکتور	شاخص	واحد	مدل	کمینه	بیشینه
A	فاصله تابش	cm	کمی	۰/۵	۲
B	زمان تابش	s	کمی	۲۰	۵۴۰

(ب)

فاکتور	شاخص	واحد	مدل	سطح
C	فرکانس تابش	Hz	کیفی	۱ ۲

می‌آید. بعد از پرتوتابی، هر پلیت به مدت ۲۴ h در دمای ۳۷ °C نگهداری شد تا روند رشد، مجدد بررسی گردد. بعد از انجام آزمایش اول، آزمایش دوم برای حالت تابش پیوسته انجام می‌شود و نتایج آن با حالت ناپیوسته مقایسه می‌گردد.

به منظور بررسی نتیجه کلی، از مقایسه نتایج مشابه در حالت تابش پیوسته و غلظت تابش استاندارد موثر در حذف باکتری، بهره‌برداری خواهد شد. در این تحقیق از باکتری اشرشیاکلای (*Escherichia coli*) به عنوان باکتری‌های گرم منفی (Negative Gram) استفاده شد. به جهت تهیه باکتری از برداشت یک لوب باکتری استفاده می‌شود تا در محیط نیم مک فارلند برای تهیه رقت استفاده شود. به منظور بررسی کدورت مناسب در رقت‌ها، باید آن را با کدورت نیم مک فارلند مقایسه نمود و در صورت عدم تطابق، سرم فیزیولوژیکی را بیشتر و یا نمونه باکتری را بیشتر اضافه کرده تا به مقدار متعادل برسد. در

پس از انتخاب طرح، معادله مدل تعیین شده و ضرایب آن پیش‌بینی می‌شوند. مدل استفاده شده در روش سطح پاسخ، عموماً معادله مدل درجه دوم کامل یا فرم کاهیده آن است. مدل درجه دوم می‌تواند به صورت معادله ۱ بیان شود.

$$Y = c_k + \sum_{i=1}^4 c_{ki} x_i + \sum_{i=1}^4 c_{kii} x_i^2 + \sum_{i < j=2}^4 c_{kij} x_i x_j \quad (1)$$

همه مراحل ذکر شده برای حالت ناپیوسته براساس طراحی آزمایش انجام می‌شود. یکبار هم آزمایش را برای حالت تابش پیوسته و توسط منبع تغذیه معمولی انجام داده و نتایج تعداد کلنی برای آن نیز ثبت می‌شود. هر پلیت، در معرض تابش پیوسته پرتو قرار می‌گیرد. مدت زمان در معرض قرار گرفتن نمونه‌ها، بر حسب ثانیه در بازه ۲۰ s تا ۵۴۰ s در نظر گرفته شد. غلظت پرتو به صورت J/cm^2 برای فاصله تابش ۰/۵ cm، ۱ cm و ۲ cm و فرکانس پالس ۱ Hz و ۲ Hz به دست

براث اتوکلاو شده استفاده شد. تعداد ۱۵ لوله در سه دسته ۵ تایی بدین منظور استفاده شد. بعد از گذشت ۴۸ h، لوله‌ها دچار تغییر رنگ شد. نمونه‌هایی که رنگشان تغییر کرده و دچار کدورت شدند و همچنین وجود گاز تولید شده در لوله دورهام، به عنوان احتمالی مثبت در نظر گرفته شد. بروز کدورت و تولید گاز در لوله‌ها نیز به علت تخمیر قند و تولید اسید ایجاد شده توسط باکتری‌ها است.

در مرحله تاییدی نیز به منظور تایید وجود باکتری اشرشیاکلای، از سه محیط کشت EC-Broth، BGB، و EC-MUG استفاده شد. بررسی نتایج توسط روش تجربی و وجود گاز قابل تشخیص در لوله دورهام، نشانه وجود کلیفرم مثبت است. به‌ویژه در محیط BGB که حضور گاز نشان از کلیفرم کل است که بسیاری از باکتری‌های تخمیری در این دسته قرار دارند. در محیط EC-Broth و پس از خروج نمونه‌ها از بن‌ماری نیز، تولید گاز در دورهام و مثبت بودن نتایج، نشان دهنده وجود کلیفرم‌های گرماپای بود که قادر به رشد در محیط‌هایی با دمای ۴۴/۵ °C هستند و همچنین نتیجه مثبت EC-MUG نشان دهنده وجود اشرشیاکلای گرم با قابلیت رشد دمای بالا است.

یافته‌ها

نتیجه تابش ناپیوسته بر نمونه باکتری

به منظور اجرای دقیق و بهینه سازی فرایند این تحقیق، از طراحی آزمایش براساس شرایط بهینه استفاده شد. در این مرحله، نمونه‌های رقیق شده به تعداد ۲۰ آزمایش مشخص شده بر مبنای مدل سطح پاسخ به کار رفت. براساس نتایج به‌دست آمده در حالت تابش ناپیوسته، تعداد کلنی‌ها در موقعیت‌ها، متغیرها و رقت‌های مختلف به دست آمد که از نظر تعداد کلنی در هر رقت و تناسب آن با درصد حذف و عدد لگاریتم حذف به صورت تقریبی و با در نظر گرفتن نزدیک‌ترین حالت به نسبت تقریبی، حذف نتایج بررسی شد و مقدار غلظت تابش و لگاریتم حذف به دست آمد که در جدول ۲ قابل مشاهده است. مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی، نشان‌دهنده همبستگی خوب بین آنها است که در شکل ۱ نشان داده شده است.

هر وضعیت متفاوت زمانی، فرکانسی و فاصله‌ای، تعداد آزمایش مشخص شده توسط نرم افزار طراحی آزمایش مشخص می‌شود و سپس تعداد نمونه مورد نیاز باکتری فاضلابی، مورد کشت و آزمایش قرار می‌گیرد.

در این مطالعه از ۴ عدد UVC-LED با طول موج کوتاه ۱۲ MW برای تولید پرتو فرابنفش استفاده شد. منبع تغذیه UVC-LED به صورت ناپیوسته و توسط جریان مستقیم تامین شد. UVC-LED امواجی با طول موج ۲۸۰-۲۶۰ nm ایجاد می‌کنند.

مقدار غلظت تابش پرتو فرابنفش در تابش پیوسته از معادله ۲ یا ۳ قابل دسترسی است. نکته قابل ملاحظه در این پژوهش، استفاده از تابش ناپیوسته است که در این حالت با استفاده از معادله ۴ یا ۵ می‌توان مقدار غلظت تابش را در زمان‌های مختلف ثبت کرد و در مقایسه نتایج با سایر مطالعات از این شرایط استفاده خواهد شد.

$$(D) J/m^2 = (I) W/m^2 \times T(s) \quad (2)$$

$$(D) mJ/cm^2 = (I) mW/cm^2 \times T(s) \quad (3)$$

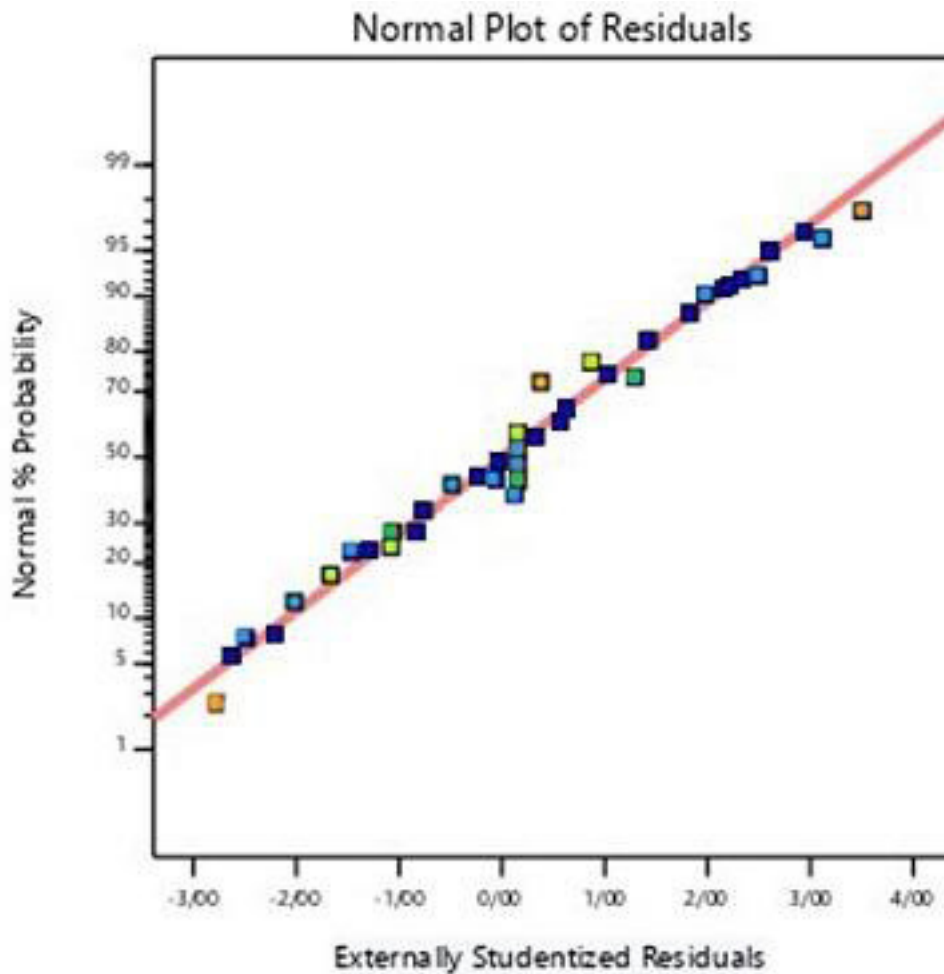
$$(D) J/m^2 = (I) W/m^2 \times T \text{ Pulse Period}(s) \times (T \text{ total}(s) \times f(Hz)) \quad (4)$$

$$(D) mJ/cm^2 = (I) mW/cm^2 \times T \text{ Pulse Period}(s) \times (T \text{ total}(s) \times f(Hz)) \quad (5)$$

در معادلات بالا، مولفه‌های (D) غلظت تابش (غلظت باکتری حذف شده) بر حسب J/m^2 یا MJ/cm^2 ، (I) شدت تابش بر حسب W/m^2 یا MW/cm^2 ، (T pulse period) مدت تابش در اولین پالس بر حسب S، (T total) زمان بهینه بر حسب S به‌دست آمده توسط برنامه دیزاین اکسپرت و (f) فرکانس تابش ناپیوسته بر حسب Hz که در این تحقیق مقدار ۱ Hz و ۲ Hz برای آن در نظر گرفته شده است، می‌باشند.

نمونه‌برداری باکتری اشرشیاکلای از فاضلاب

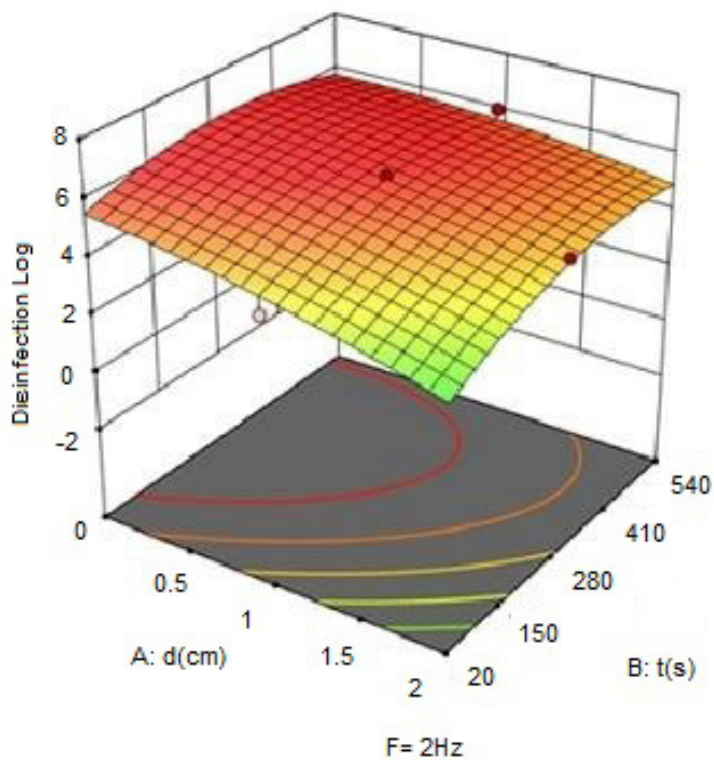
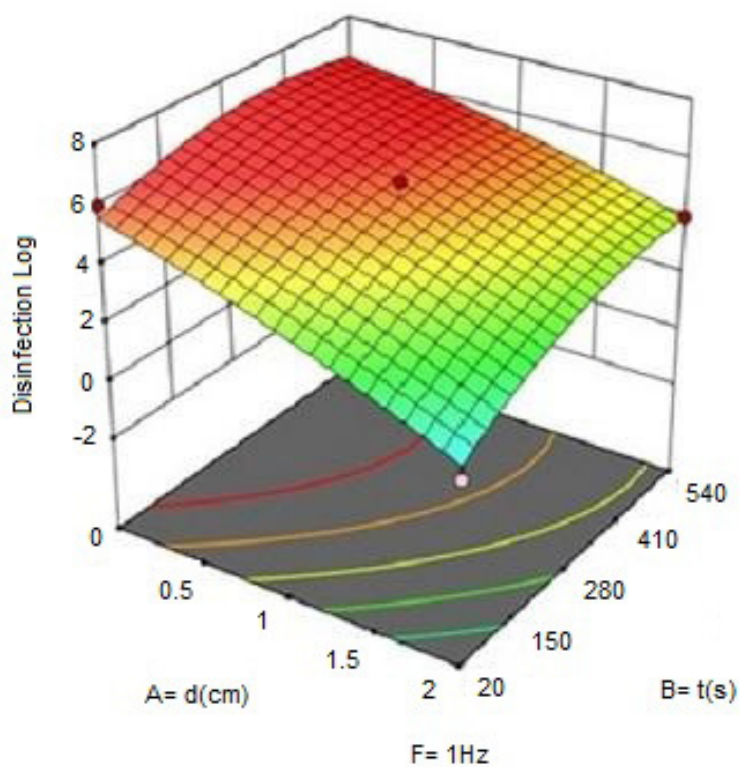
در مرحله کشت احتمالی، به‌منظور کشت باکتری اشرشیاکلای از روش تخمیر چند لوله‌ای و در محیط کشت لوریل سولفات



شکل ۱- دقت مدل سطح پاسخ

تابش بیشینه (S ۵۴۰)، غلظت تابش نیز افزایش می‌یابد. در این صورت با کاهش فاصله و افزایش زمان تابش، غلظت تابش افزایش بیشتری خواهد داشت. با بررسی تغییرات فرکانس در هر شکل و با توجه به اینکه در این مطالعه در حالت پالسی از فرکانس ۱ و ۲ Hz پیروی می‌شود، در حالت تغییر ۱ Hz به ۲ Hz شدت غلظت تابش افزایش یافته و در طیف رنگی تعریف می‌شود که از کمترین شدت (رنگ آبی و سبز) تا بیشترین شدت (رنگ قرمز) قابل تعریف است. چنین نتایجی برای غلظت تابش نیز به صورت مشابه حذف باکتری بوده و دلیل آن رابطه مستقیم بین غلظت تابش و میزان حذف باکتری است.

با طراحی آزمایش بهینه، می‌توان اطلاعات جانبی دیگری نیز از دیزاین اکسپرت استخراج نمود که در روند انجام آزمایش و درک روابط بین متغیرها مفید است. مدل گرافیکی سه بعدی ارائه شده در شکل ۲ نشان دهنده رابطه متغیرها نسبت به لگاریتم حذف باکتری است. همانطور که ملاحظه می‌شود، متغیر فرکانس به عنوان متغیر کیفی در نظر گرفته می‌شود و تغییرات زمان و فاصله تابش در میزان غلظت تابش بررسی شده است که در آن می‌توان به این نکته دست یافت که با کاهش میزان فاصله، مقدار غلظت تابش بر حسب میلی‌ژول بر سانتی‌متر مربع افزایش می‌یابد. این در حالی است که در اثر افزایش زمان تابش به سمت زمان



شکل ۲- نحوه ارتباط متغیرها در طراحی آزمایش با نرم افزار
(محور A: نشان دهنده فاصله تابش، محور B: نشان دهنده زمان تابش)

جدول ۲- حالت بهینه ارائه شده براساس طراحی آزمایش Design-Expert و نتایج تابش ناپیوسته

شماره آزمایش	فاصله تابش (cm)	زمان تابش (s)	فرکانس تابش (Hz)	غلظت تابش (MJ/cm ²)	لگاریتم حذف	میزان باکتری حذف شده (درصد)
۱	۰	۲۸۰	۱	۲۶۶	۶	۹۹/۹۹۹۹
۲	۲	۲۸۰	۱	۱۶۸	۵	۹۹/۹۹۹
۳	۲	۵۴۰	۲	۶۲/۱	۶	۹۹/۹۹۹۹
۴	۱	۲۸۰	۲	۱۴۳	۶	۹۹/۹۹۹۹
۵	۲	۲۰	۱	۱/۱۵	۱	۹۰
۶	۰	۲۰	۲	۹۸	۶	۹۹/۹۹۹۹
۷	۱	۵۴۰	۱	۱۲۸/۵	۶	۹۹/۹۹۹۹
۸	۲	۵۴۰	۱	۳۱/۰۵	۶	۹۹/۹۹۹۹
۹	۱	۲۸۰	۱	۶۶/۶۳	۶	۹۹/۹۹۹۹
۱۰	۱	۶۰	۱	۱۴/۲۷	۵	۹۹/۹۹۹
۱۱	۰	۵۴۰	۲	۱۰/۲۶	۶	۹۹/۹۹۹۹
۱۲	۱	۲۸۰	۱	۶۲	۶	۹۹/۹۹۹۹
۱۳	۱	۲۰	۱	۴/۷۲	۴	۹۹/۹۹
۱۴	۲	۲۸۰	۲	۳۲/۳	۶	۹۹/۹۹۹۹
۱۵	۱	۲۸۰	۱	۶۹	۶	۹۹/۹۹۹۹
۱۶	۲	۴۰	۱	۲/۳	۲	۹۹
۱۷	۱	۲۸۰	۱	۶۵	۶	۹۹/۹۹۹۹
۱۸	۰	۲۰	۱	۱۹	۶	۹۹/۹۹۹۹
۱۹	۰	۵۴۰	۱	۴۱۳	۶	۹۹/۹۹۹۹
۲۰	۲	۲۰	۲	۲/۳	۲	۹۹

نتیجه تابش پیوسته با UVC-LED

در این مرحله براساس ۲۰ آزمایش طراحی شده، پلیت‌ها تحت رقت‌سازی قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه تابش پیوسته است، غلظت تابش از معادله ۲ یا ۳ بدست می‌آید. نتایج انجام آزمایش

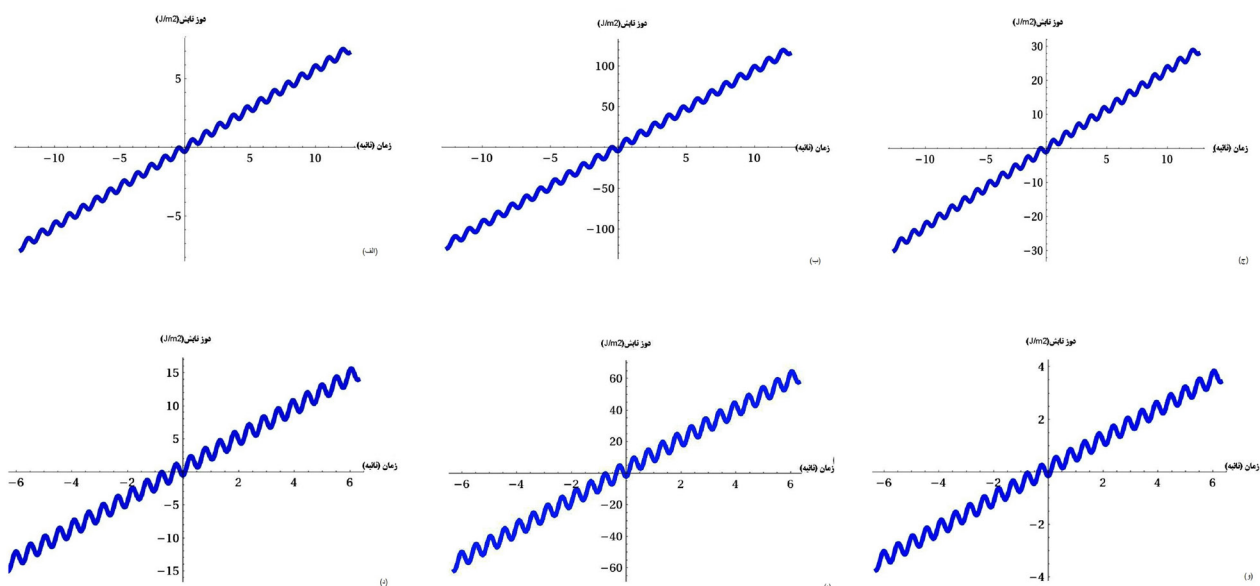
در زمان‌های تعیین شده به ازای سه فاصله ۰/۵ cm، ۱ cm و ۲ cm به صورت جدول ۳ برای زمان‌های ۲۰ s، ۴۰ s و ۶۰ s که کمترین زمان آزمایشات است، انجام شد.

جدول ۳- نتایج تابش پیوسته در زمان و فاصله مختلف

غلظت تابش (MJ/m ²)		غلظت تابش (MJ/m ²)		غلظت تابش (MJ/m ²)		زمان تابش S
انرژی تابشی جذب شده در لگاریتم حذف واحد سطح در ۰/۵ cm		انرژی تابشی جذب شده لگاریتم حذف در واحد سطح در ۱ cm		لگاریتم حذف		انرژی تابشی جذب شده در واحد سطح در ۲ cm
۶	۷۶	۶	۱۹	۴	۴/۶	۲۰
۶	۱۵۲	۶	۳۸	۵	۹/۲	۴۰
۶	۲۲۸	۶	۵۷	۵	۱۳/۸	۶۰
۶	۳۰۴	۶	۷۶	۶	۱۸/۴	۸۰
۶	۳۸۰	۶	۹۵	۶	۲۳	۱۰۰

زمان ۱ s، ۰/۲۵ s T Pulsed دو بار تابش می‌شود و به همان اندازه نیز تابش قطع می‌شود. بنابراین طول موج کوتاه‌تر ایجاد شده و قدرت حذف بیشتر است. از سوی دیگر با توجه به اینکه در حالت تابش ناپیوسته، فرکانس ۱ Hz و ۲ Hz موجود است می‌توان شکل سیگنال تابشی را به صورت سینوسی فرض نمود و با در نظر داشتن فرکانس سینوسی پالس تابش به عنوان ورودی سیستم و تعیین رابطه عمومی برای کلیه تابش‌ها در دو فرکانس، این سیستم را مدل کرد که نمودار غلظت به شکل موج افزایشی به ترتیب برای فرکانس ۱ Hz و ۲ Hz و در فواصل ۰/۵ cm، ۱ cm و ۲ cm از طریق معادله ۴ بدست آمد (شکل ۳).

مدل‌سازی پالس تابش
با توجه به اینکه مقدار غلظت تابش ۱ S در فواصل، زمان و فرکانس‌های مختلف افزایشی است، می‌توان فرمول متناسب با این ویژگی را ارائه داده و فرمول مدل‌سازی را به عنوان خروجی اثر تابش در نظر گرفت. باید توجه داشت که در تابش ناپیوسته زمان اولین تابش برای حذف غلظت باکتری ۰/۲۵ s در نظر گرفته شده است که همان T Pulsed در معادله ۴ است. با توجه به اینکه در فرکانس ۱ Hz در مدت زمان تابش ۱ s، یک پالس تابش ایجاد می‌شود و با در نظر گرفتن مدت زمان T Pulsed بنابراین ۰/۲۵ s تابش صورت می‌گیرد و ۰/۷۵ s تابش قطع می‌شود. در فرکانس ۲ Hz به دلیل ایجاد دو پالس تابش در مدت



شکل ۳- پالس تابش: غلظت ۱ Hz، غلظت ۲ Hz در فواصل ۰/۵ cm و ۱ cm و ۲ cm

معادله متناسب با این ویژگی را ارائه داده و معادلات مدل سازی جدول ۵ را به عنوان خروجی اثر تابش در نظر گرفت.

با توجه به اینکه مقدار غلظت تابش ۱ s طبق جدول ۴ در فواصل، زمان و فرکانس های مختلف افزایشی است، می توان

جدول ۴- دوز تابش ثانیه ای بر حسب معادله ۳

دوز تابش MJ/cm ²	شدت تابش MW/cm ²	فاصله تابش cm	فرکانس Hz
۰/۹۵	۳/۸۲۱	۰/۵	
۰/۲۳	۰/۹۵	۱	۱
۰/۰۵۷	۰/۲۳	۲	
۱/۹۱	۳/۸۲۱	۰/۵	
۰/۴۷۵	۰/۹۵	۱	۲
۰/۱۱۵	۰/۲۳	۲	

جدول ۵- روابط مدل سازی پالس تابش بر حسب شکل ۳

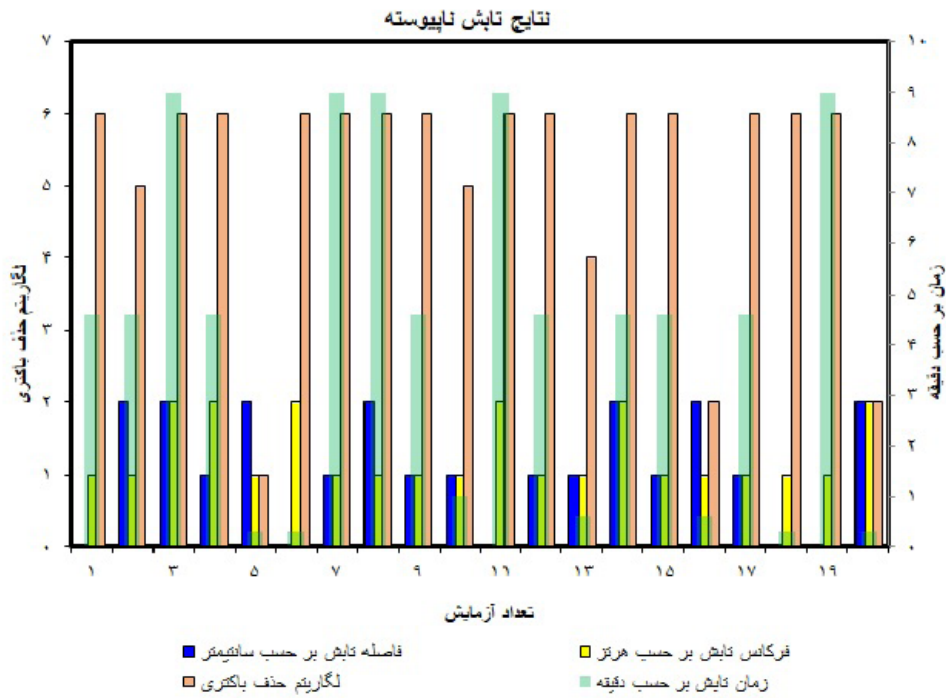
ردیف	پالس تابش	معادلات
الف	پالس غلظت تابش ۱ Hz در فاصله ۲ سانتیمتر	$Output(2cm) = 0.57(x + \sin^2 3x) - 0.3$
ب	پالس غلظت تابش ۱ Hz در فاصله ۰/۵ cm	$Output(0.5cm) = 9/5 (x + \sin^2 3x) - 4$
ج	پالس غلظت تابش ۱ Hz در فاصله ۱ cm	$Output(1cm) = 2/3 (x + \sin^2 3x) - 1$
د	پالس غلظت تابش ۲ Hz در فاصله ۱ cm	$Output(1cm) = 2/3 (x + \sin^2 6x) - 0.5$
ه	پالس غلظت تابش ۲ Hz در فاصله ۰/۵ cm	$Output(0.5cm) = 9/5 (x + \sin^2 6x) - 2$
و	پالس غلظت تابش ۲ Hz در فاصله ۲ cm	$Output(2cm) = 0.57 (x + \sin^2 6x) - 0.15$

۰/۵ cm، ۱ cm و ۲ cm به صورت جدول ۳ برای ۳ s، ۲۰ s، ۴۰ s و ۶۰ s که کمترین زمان آزمایشات است، انجام شد. از آنجا که نتایج آزمایش در سه زمان مذکور بسیار موثر بود، از انجام موارد دیگر در زمان بیشتر به دلیل کاهش هزینه مطالعه صرفه نظر شد. نتایج عملی این آزمایشات نشان داد که به جز در فاصله ۲ cm، دو حالت فاصله‌ای دیگر (۰/۵ cm و ۱ cm) داشتند در زمان ۲۰ s، عملکرد حذف تقریبی برابر لگاریتم ۶ داشتند و در واقع هیچ کلنی رشد نکرده بود. در حالت فاصله ۲ cm و زمان تابش ۲۰ s، غلظت تابش $4/6 \text{ MJ/cm}^2$ می‌شود که در این حالت لگاریتم حذف باکتری برابر ۴ شده و موجب رشد یک کلنی در رقت ۱:۱۰۰ و حدود ۱۰ کلنی در رقت ۱:۱۰ می‌شود. در حالت تابش ۴۰ s و ۶۰ s، غلظت تابش به ترتیب $9/2 \text{ MJ/cm}^2$ و $13/8 \text{ MJ/cm}^2$ شده و در هر دو حالت تابش، لگاریتم حذف برابر با ۵ شده است و تعداد ۱ کلنی در رقت ۱:۱۰ رشد می‌کند. نتیجه این آزمایشات نشان از موثر بودن فاصله، فرکانس و زمان تابش بر غلظت تابش و

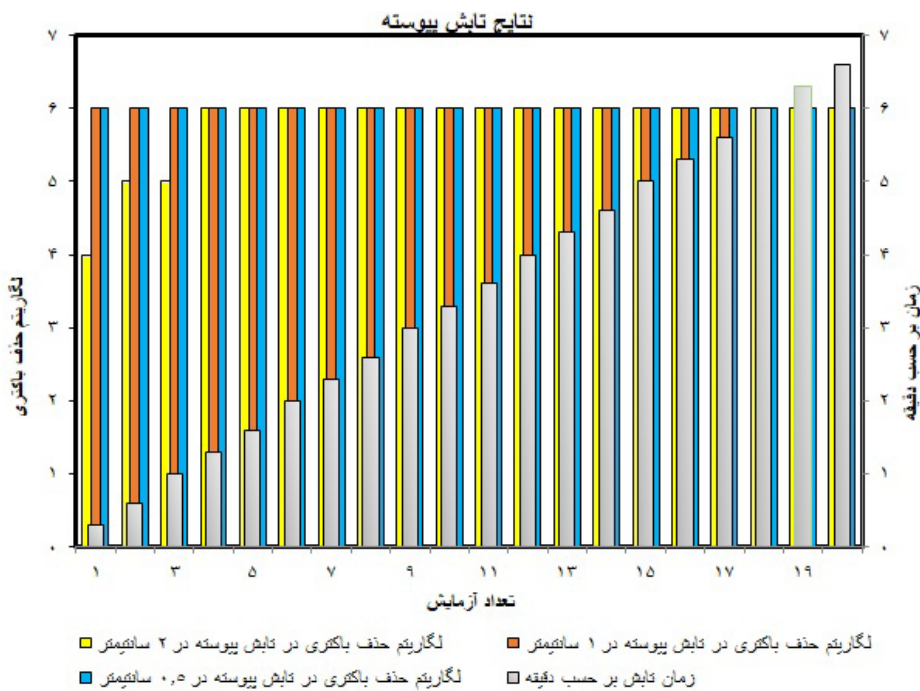
ارزیابی نتایج تابش ناپیوسته در حذف باکتری براساس نتایج به دست آمده در جدول ۲، بیشترین غلظت تابش با دوز $10/26 \text{ MJ/cm}^2$ در وضعیتی رخ می‌دهد که فاصله تابش کمترین مقدار را دارد و در فاصله ۰/۵ cm (در طراحی عدد صفر به جای ۰/۵ در نظر گرفته شده است) و فرکانس ۲ Hz با مدت زمان بیشینه این مطالعه یعنی ۵۴۰ s بوده است. در چنین غلظت تابشی، میزان حذف باکتری به $99/9999$ درصد یا ۱۰۰۰۰۰۰ برابر مقدار باکتری اولیه می‌رسد که در آن عملاً باکتری وجود ندارد و نمونه عاری از هرگونه باکتری است و لگاریتم حذف در این حالت ۶ خواهد بود. همچنین در کمترین غلظت تابش $1/15 \text{ MJ/cm}^2$ ، کمترین زمان تابش ۲۰ s و فاصله ۲ cm و فرکانس ۱ Hz، تنها ۱۰ برابر تعداد باکتری اولیه حذف داده است و یا به عبارتی ۹۰ درصد حذف و یا عدد لگاریتم حذف برابر ۱ است (نمودار ۱).

ارزیابی نتایج تابش پیوسته در حذف باکتری نتایج انجام آزمایش در زمان‌های تعیین شده به ازای سه فاصله

میزان حذف باکتری دارد که هرکدام می‌توانند کمبود و ضعف دیگری را جبران کند. به عنوان نمونه، در صورت پایین بودن فاصله تابش، زمان کم تابش تا حدودی جبران می‌شود و مانع از کاهش غلظت تابش می‌شود (نمودار ۲).



نمودار ۱- نتیجه تابش ناپیوسته در حذف باکتری



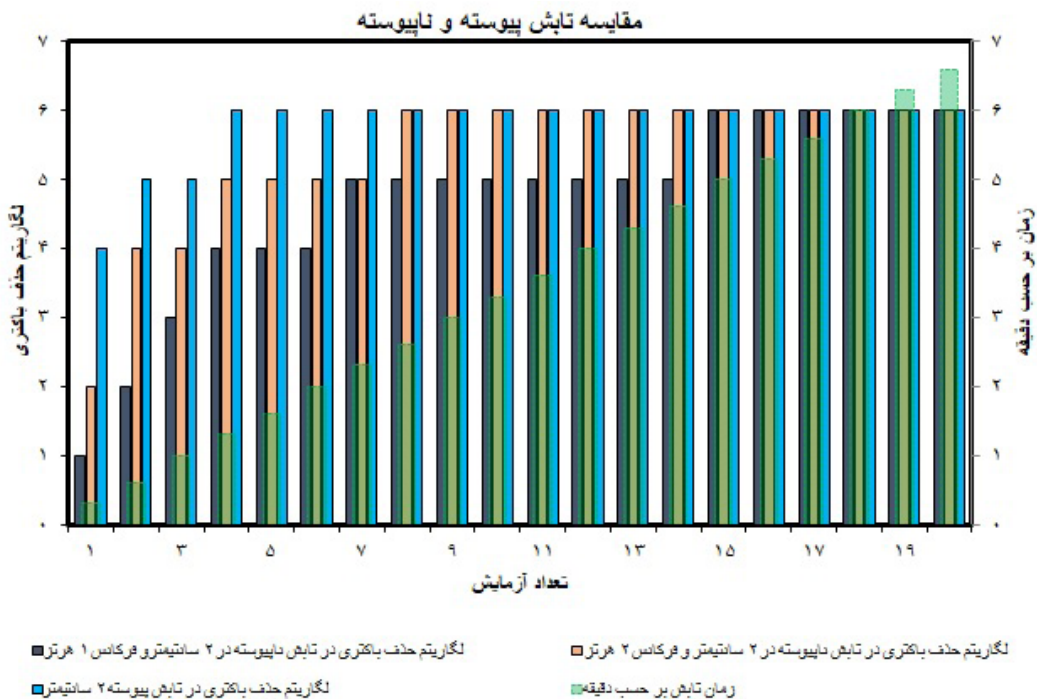
نمودار ۲- نتیجه تابش پیوسته در حذف باکتری

بحث

۱ Hz تنها به لگاریتم حذف ۴ و یا به عبارت دیگر ۹۹/۹۹ درصد حذف دست یافته است که ضعیف‌ترین عملکرد تابش ناپیوسته در فاصله ۱ cm محسوب می‌شود. همچنین عملکرد حالت ناپیوسته در فاصله ۱ cm در سایر وضعیت‌های متغیر (زمان و فرکانس)، با حذف کامل ۹۹/۹۹۹۹ درصد و لگاریتم ۶ همراه بوده که طبیعتاً دلیل آن افزایش زمان و یا فرکانس ۲ Hz بوده است.

در حالت تابشی ناپیوسته ۲ cm ملاحظه می‌شود که در زمان‌های ۲۸۰ s و بیشتر به ازای فرکانس تابش ۲ Hz، عملکرد تابشی به سمت حذف کامل باکتری پیش می‌رود اگرچه در زمان‌های کمتر از ۲۸۰ s، میزان حذف باکتری کمتری رخ می‌دهد تا جایی که در زمان ۲۰ s و فاصله تابش ۲ cm، نتیجه حذف به کمترین مقدار رسیده و لگاریتم حذف در فرکانس تابش ۱ Hz و ۲ Hz به ۱ و ۲ می‌رسد که در مقایسه با تابش پیوسته عملکرد ضعیف‌تری را نشان می‌دهد (نمودار ۳).

مقایسه نتایج جداول ۱ و ۲ نشان داد کارایی تابش ناپیوسته در مقایسه با تابش پیوسته از قدرت عملکردی خوبی برخوردار است. تابش ناپیوسته در نوع خود علاوه بر کاهش هزینه‌های انرژی، تعمیر و نگهداری، زمینه توسعه کاربرد در سطوح گسترده را نیز به همراه دارد. با مقایسه نتایج دو روش تابش پیوسته و تابش ناپیوسته، می‌توان دریافت که سرعت و قدرت تابش پیوسته دیود فرابنفش بسیار بیشتر از حالت تابش ناپیوسته است. با توجه به نتایج تابش پیوسته در فاصله ۰/۵ cm و ۱ cm که عملکرد قابل قبولی داشت و تا ۹۹/۹۹۹۹ درصد باعث حذف باکتری شد که به عنوان درصد حذف کامل نیز تلقی می‌شود، از مقایسه آن با تابش ناپیوسته، در فاصله ۰/۵ cm و ۱ cm نکته‌ای را می‌توان دریافت و آن این است که حالت ناپیوسته نیز در فاصله ۰/۵ cm عملکرد خوبی داشته و به میزان حذف ۹۹/۹۹۹۹ درصد رسیده است. همچنین ملاحظه می‌شود که حالت ناپیوسته در فاصله ۱ cm و در زمان ۲۰ s و فرکانس



نمودار ۳- مقایسه تابش ناپیوسته و تابش پیوسته در فاصله ۲ cm

از تعداد ۲۰ آزمایشی که با متغیرهای زمان تابش، فاصله تابش و فرکانس تابش در تابش ناپیوسته و همچنین متغیرهای زمان تابش و فاصله تابش در حالت پیوسته انجام گرفت این نتیجه حاصل گردید که برتری نسبی تابش پیوسته قابل ملاحظه است و در ۸۵ درصد آزمایشات، تابش پیوسته منجر به حذف کامل باکتری‌ها در نمونه شده است و تنها در ۱۵ درصد موارد، حذف کامل رخ نداده است. این در حالی است که تابش ناپیوسته در ۷۰ درصد موارد موفقیت‌آمیز عمل کرده و در ۳۰ درصد دیگر به درصد حذف کامل نرسیده است. نتایج این مطالعه با نتایج غلظت تابش فرابنفش مطالعه Yaun و همکاران (۲۰۰۳) تطابق کامل دارد و در محدوده غلظت تابش مشخص شده در آن مطالعه، نتایج این تحقیق عملکرد دقیقی را داشته که نشان دهنده عملکرد قابل قبول روش تابش ناپیوسته است (۱۱).

همچنین با بررسی نتایج مطالعه Kim و همکار (۲۰۱۸) این نکته مورد توجه قرار گرفت که متغیرهای محیطی در اثرگذاری UVC-LED بر حذف باکتری اشرشیاکلاهی مهم و تاثیرگذارند (۱۲). همانگونه که در این مطالعه میزان فاصله از سطح تابش، فرکانس تابش و زمان تابش بررسی شد که به ترتیب اثر عکس، مستقیم و مستقیم بر حذف باکتری اشرشیاکلاهی داشتند و دمای تابش به عنوان عامل محیطی موثر بود و در دمای 60°C ، تابش پرتو فرابنفش با طول موج کوتاه از UVC-LED راندمان حذف را بالاتر برد. در مقایسه با مطالعه Gros و همکاران (۲۰۱۵) که در آن نیز همچون مطالعه قبل محیط تابش دستخوش تغییر شد و در آن تابش تحت حالت ایستایی هدایت شد نتایج این مطالعه نتیجه همسویی نشان داد (۱۳).

به نظر می‌رسد استفاده از سیستم‌های خود تغذیه و انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان منابع تغذیه در تابش ناپیوسته پرتو فرابنفش می‌تواند کارایی اقتصادی و پایداری انرژی را در حذف آلودگی‌ها به روش فتولیز فرابنفش ناپیوسته توسعه دهد.

نتیجه‌گیری

کارایی تابش ناپیوسته در مقایسه با تابش پیوسته از قدرت

عملکردی خوبی برخوردار است. تابش ناپیوسته در نوع خود علاوه بر کاهش هزینه‌های انرژی، تعمیر و نگهداری، زمینه توسعه کاربرد در سطوح گسترده را نیز به همراه دارد. همچنین با ایجاد تغییر اندک در مولفه‌های موثر بر غلظت تابش ناپیوسته، می‌توان نتایج مشابه حالت تابش پیوسته را کسب کرد و این از کارایی این روش محسوب می‌شود که با هزینه و استهلاک کمتر و با طول عمر بالاتر تجهیزات و صرف انرژی کمتر، اثرات موثری در حذف باکتری فاضلابی دارد. همچنین در مقایسه نتایج این مطالعه با مطالعات مشابه می‌توان دریافت که کارایی تابش ناپیوسته پرتو فرابنفش با طول موج بلند به مدت زیاد، قبل از تابش پرتو فرابنفش با طول موج کوتاه باعث تسریع حذف باکتری اشرشیاکلاهی می‌شود. همچنین پرتو فرابنفش با درخشش A ۲۸۰۰، دارای خاصیت میکروب‌کشی است و هرگونه حیاتی را منهدم می‌کند. از این خاصیت بعضاً در استریلیزاسیون استفاده می‌شود. محدودیت اصلی پرتو فرابنفش به‌خاطر قدرت کم نفوذ آن است و این پرتو قادر به عبور از شیشه‌های معمولی، پلاستیک‌ها، محلول‌های کدر و لایه‌های نازک شیر و مواد روغنی نیست. در بررسی اثر غشاهای پوشش‌های مختلف در جلوگیری از نفوذ نور UV-C مشخص شده است که مواد و شیشه‌های ضد پرتو فرابنفش، به طور ۱۰۰ درصد از نفوذ پرتو فرابنفش جلوگیری می‌نمایند. از نظر سلامت نیز، تابش مداوم آن به شبکیه چشم صدمه زده و بر پوست اثر سرطان‌زایی دارد.

از نظر اقتصادی نیز مزایایی برای این تحقیق محقق می‌شود که بنابر روش مورد استفاده می‌توان آن را به این صورت بررسی نمود. استفاده از تابش ناپیوسته در فرکانس ۱ Hz و ۲ Hz باعث کاهش زمان مصرف انرژی به ترتیب به یک سوم و نصف حالت تابش پیوسته می‌شود و این یافته بدیهی، با توجه به زمان تابش S ۰/۲۵ و S ۰/۵ محقق می‌شود. در واقع با این کاهش زمان تابش، میزان هزینه انرژی الکتریکی به همان درصد کاهش خواهد داشت. از طرفی کاهش زمان کارکرد UVC-LED در حالت ناپیوسته، عمر مفید این قطعات را نیز افزایش خواهد داد که در ابعاد بزرگ‌تر این هزینه نیز قابل بیان خواهد بود و از هزینه کل یک واحد

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه دانشگاه پیام نور شیراز با عنوان "ارزیابی اثر فتولیز دیوده‌های فرابنفش در کاهش غلظت باکتری‌های فاضلابی در حالت تابش پالسی در مقایسه با تابش پیوسته" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۴۰۰ است.

تصفیه و یا ضدعفونی کاسته خواهد شد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

References

1. Jalili Jamshidian F, Rajabi M, Modarresipoor M. Study and comparison of the most important methods of wastewater treatment and effluent disinfection. Fifth International Congress on Agricultural Development, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran; Tabriz2021 (in Persian).
2. Rahimi Ghasemabadi M, Amin Salehi F, Ghorbani Nia Z, Mahood M. Study of the application of reuse methods and water recycling in the country. Sixth International Conference on New Research in Civil Engineering, Architecture, Urban Management and Environment; Karaj2020 (in Persian).
3. Ghomshi M, Mohammad S. Study of qualitative indicators of use of effluent of Chenibeh wastewater refinery in irrigation of green space of west of Ahvaz. Second National Seminar on the Status of Recycled Water and Wastewater in Water Resources Management; Mashhad2010 (in Persian).
4. Mousavi H, Sarafzade MH. Study of effective methods to increase water productivity and environmental protection in paddy fields. Second National Conference on Strategic Water Management Principles for Water Crisis Management; Tehran2014 (in Persian).
5. Rezaie A, Leite GG, Melmed GY, Mathur R, Villanueva-Millan MJ, Parodi G, et al. Ultraviolet A light effectively reduces bacteria and viruses including coronavirus. *PloS one*. 2020;15(7):e0236199 (in Persian).
6. Narita K, Asano K, Naito K, Ohashi H, Sasaki M, Morimoto Y, et al. Ultraviolet C light with wavelength of 222 nm inactivates a wide spectrum of microbial pathogens. *Journal of Hospital Infection*. 2020;105(3):459-67.
7. Kim D-k, Kang D-H. Effect of surface characteristics on the bactericidal efficacy of UVC LEDs. *Food Control*. 2020;108:106869.
8. Jarvis P, Autin O, Goslan EH, Hassard F. Application of ultraviolet light-emitting diodes (UV-LED) to full-scale drinking-water disinfection. *Water*. 2019;11(9):1894.
9. Song K, Mohseni M, Taghipour F. Application of ultraviolet light-emitting diodes (UV-LEDs) for water disinfection: A review. *Water Research*. 2016;94:341-49.
10. Yousefi Kebria D, Kiamehr K. Septic tank effluent treatment for reuse. Second National Conference on Environmental Engineering And Management; Tehran2016 (in Persian).
11. Yaun BR, Sumner SS, Eifert JD, Marcy JE. Response of Salmonella and Escherichia coli O157: H7 to UV energy. *Journal of Food Protection*. 2003;66(6):1071-73.
12. Kim D-K, Kang D-H. UVC LED irradiation effectively inactivates aerosolized viruses, bacteria, and fungi in a chamber-type air disinfection system. *Applied and Environmental Microbiology*. 2018;84(17):e00944-18.
13. Gross A, Stangl F, Hoenes K, Sift M, Hessling M. Improved drinking water disinfection with UVC-LEDs for Escherichia coli and Bacillus subtilis utilizing quartz tubes as light guide. *Water*. 2015;7(9):4605-21.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Effectiveness of Ultraviolet-C light diode radiation using pulsed and continuous radiation in reducing the concentration of Escherichia coli

Elham Asrari^{1,*}, Hedieh Deyhim²

1- Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

2- Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Shiraz, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 28 May 2022

Revised: 23 August 2022

Accepted: 27 August 2022

Published: 12 September 2022

ABSTRACT

Background and Objective: The application of ultraviolet photolysis in the removal of microbial contamination can develop the use of wastewater sources. In this research, the efficiency of UVC-LED for removing Escherichia coli was evaluated in pulsed radiation mode with continuous radiation.

Materials and Methods: In order to conduct this research, 4 UVC-LEDs with a short wavelength of 12 MW were used to produce ultraviolet rays. LEDs create waves with a wavelength of 260-280 nm. The distance between the LED and the plates was considered to be about 0.5 cm, 1 cm, and 2 cm. In order to investigate the effect of discontinuous radiation on UVC-LED performance, 2 Hz and 1 Hz frequency were used. In this case, the power source is connected 2 times and 1 time respectively in every second. The variables of radiation time (t) in seconds, radiation distance (d) in centimeters, and radiation frequency (f) in Hz were used for valuation.

Results: The results showed that in discontinuous irradiation, although the effectiveness increases with the increase of irradiation time, and practically at times higher than 280 seconds, bacteria do not remain in the samples, but the performance of discontinuous irradiation compared to continuous irradiation in removing bacteria at irradiation intervals of 1 cm, 0.5 cm and time 20 s has only achieved logarithm 4 or in other words 99.99% removal, which is considered the weakest performance of continuous radiation. Also, in the discontinuous radiation mode, after 280 s time and 2 cm distance, the radiation performance towards the complete removal of bacteria is equal to the logarithm of 6 or 99.999%, which is equal to the amount of bacteria removal in continuous radiation.

Conclusion: The efficiency of pulsed radiation was greater as compared to continuous radiation.

Keywords: Sewage bacteria, Ultraviolet, Nordsill diode, Pulsed radiation, Continuous radiation

***Corresponding Author:**

e_asrari@pnu.ac.ir

Please cite this article as: Asrari E, Deyhim H. Effectiveness of Ultraviolet-C light diode radiation using pulsed and continuous radiation in reducing the concentration of Escherichia coli. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;15(2):345-60.

