



## بررسی اثرگذاری دستگاه مکانیزه ضد عفونی کننده آب با استفاده از اشعه فرابنفش بر آب خروجی مزرعه پرورش ماهی قزل آالی رنگین کمان

رسول زمانی احمد محمودی<sup>۱\*</sup>، اسماعیل پیرعلی خیرآبادی<sup>۲</sup>، حسین رحیمی پردنجانی<sup>۲</sup>

<sup>۱\*</sup> - گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

<sup>۲</sup> - گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

نوع مقاله:	چکیده
پژوهشی	<p><b>مقدمه:</b> آبی‌پروری شامل تکثیر و پرورش گیاهان آبی، جانوران و سایر موجودات برای اهداف تجاری، تفریحی و علمی می‌باشد که امروزه توجه زیادی را به خود جلب کرده است. با این حال، توسعه‌ی کنترل نشده‌ی آن مانند هر فعالیت تولیدی دیگر اثرات مخربی بر محیط‌زیست داشته و لذا حذف آلاینده‌های آب امری مهم محسوب می‌گردد. هدف از مطالعه حاضر بررسی اثرگذاری دستگاه مکانیزه ضد عفونی کننده آب با استفاده از اشعه فرابنفش (UV) با دوزهای مختلف بر کاهش میکروارگانیسم‌های آب خروجی مزارع پرورش ماهی قزل آالی رنگین کمان بود. همچنین کارایی این دستگاه در غیرفعال کردن پاتوژن‌ها، در دبی‌ها و میزان کدورت‌های مختلف آب مورد بررسی قرار گرفت.</p>
تاریخچه مقاله:	
دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۴	
پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲	
کلمات کلیدی:	<p><b>مواد و روش‌ها:</b> مکان اجرای طرح مورد مطالعه در یک مزرعه پرورش ماهی قزل آالی رنگین کمان با ظرفیت ۳۰ تن واقع در شهرستان کیار در ۳۰ کیلومتری مرکز استان چهارمحال و بختیاری بود. دستگاه UV با دوزهای مختلف (۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ mW/cm<sup>2</sup> = milliwatt- joule) روی آب خروجی کارگاه پرورش ماهی، با کدورت‌ها و دبی‌های مختلف (۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه) تابیده شد. سپس نمونه برداری از آب کارگاه قبل و بعد از نصب دستگاه گندزدایی UV انجام شد. میانگین شمارش کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی، قارچ و مخمر هر کدام با سه تکرار محاسبه شد. به منظور بررسی تغییرات درصد حذف میکروارگانیسم‌ها در دوزهای مختلف UV از رگرسیون پروبیت (Probit) در محیط نرم افزار SPSS در سطح آماری ۰/۰۰۱ استفاده شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Microsoft Excel 2016 انجام گرفت.</p>
آبی‌پروری	
گندزدایی	
اشعه فرابنفش	
کدورت	
نتایج:	<p>نتایج نشان داد که افزایش دبی آب و کدورت آب، باعث کاهش راندمان حذف میکروارگانیسم‌های هدف می‌شود. همچنین با افزایش دوز UV، درصد حذف کلی فرم کل، کلی فرم مدفوعی، قارچ و مخمر افزایش پیدا می‌کند به طوری که در دوز ۵۶ mJ/cm<sup>2</sup> میزان کلی فرم کل، کلی فرم مدفوعی، قارچ و مخمر به ترتیب ۱/۷، ۳/۲، ۰/۷ و ۰/۸۶ log کاهش یافت در حالی که در دوزهای ۱۸۵ و ۱۶۷ mJ/cm<sup>2</sup> تراکم کلی فرم کل و مدفوعی ۲۳ برابر و تراکم کلنی‌های قارچ و مخمر بین ۰/۷ تا ۱/۶ log کاهش پیدا کرد. در دوز حدود ۱۰۰ mJ/cm<sup>2</sup> الی ۱۲۰ تقریباً حذف کامل کلی فرم کل، کلی فرم مدفوعی و قارچ‌ها صورت گرفت، ولی برای حذف کامل مخمرها بسته به میزان دبی آب و کدورت آب، به طور قابل ملاحظه‌ای به دوزهای بیشتری از اشعه UV احتیاج است (تا حداکثر ۲۴۰ mJ/cm<sup>2</sup>). همچنین نتایج رگرسیون پروبیت نشان داد در دوز ۴۰/۵۰ mJ/cm<sup>2</sup>، ۲۰/۲ mJ/cm<sup>2</sup>، ۳۰/۳۱ mJ/cm<sup>2</sup> و ۱۴/۳۶ mJ/cm<sup>2</sup> به ترتیب پنجاه</p>

درصد جمعیت مخمر ( $Z=16, P<0/001$ )، قارچ ( $Z=13/5, P<0/001$ )، کلی فرم مدفوعی ( $Z=22/77, P<0/001$ ) و کلی فرم کل ( $Z=6/8, P<0/001$ ) حذف خواهد شد.

**بحث:** به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که در دوز  $20 \text{ mJ/cm}^2$  حذف تدریجی میکروارگانیسم‌ها شروع می‌شود و در دوزهای بالاتر از  $120 \text{ mJ/cm}^2$  از شدت حذف میکروارگانیسم‌ها کاسته می‌شود. بنابراین تابش دوزهای اشعه فرابنفش متناسب با کیفیت آب مزارع پرورش ماهیان، می‌تواند باعث حفظ سلامت سیستم و به تبع آن افزایش بهره‌وری گردد. اطلاعات به دست آمده از این طرح می‌تواند برای سیستم‌های تجاری تصفیه آب و سیستم‌های مدار بسته آبریان مفید باشد. مطالعات بیشتری برای کارایی حذف ویروس‌ها در آب توسط اشعه فرابنفش نیاز است. احداث حوضچه رسوب‌گیر و فیلتر کردن آب با روش‌های مختلف مانند استفاده از فیلترهای شنی قبل از استفاده از اشعه فرابنفش به منظور کاهش بار ذرات معلق در آب و افزایش کارایی دستگاه ضد عفونی کننده پیشنهاد می‌شود.

## مقدمه

در آبی‌پروری کیفیت فیزیکوشیمیایی و زیستی آب و اثرات احتمالی پساب‌ها روی محیط ممکن است به صورت طبیعی یا در اثر فعالیت‌های انسانی اتفاق بیفتد و با ایجاد بیماری‌ها و آلودگی، محیط‌زیست را تحت تأثیر قرار دهد (Liu *et al.*, 2010). بنابراین بهبود وضعیت آبی‌پروری و توسعه‌ی همگام آن با معیارهای محیط‌زیستی و به حداقل رساندن اثرات محیط‌زیستی ناشی از آبی‌پروری امری لازم و ضروری است (Tacon *et al.*, 2003). امروزه در برخی از کشورها، برای جلوگیری از گسترش آلودگی‌ها، مزارع پرورش ماهی را ملزم به ایجاد و توسعه سیستم‌های تصفیه پساب کرده‌اند (Liltved & Landfald, 1995).

آلاینده‌های موجود در پساب کارگاه‌های پرورش ماهی قزل‌آلا عمدتاً شامل مواد جامد معلق (بقایای غذا و مدفوع ماهی)، مواد محلول آزاد شده توسط ماهی (آمونیم و اوره) و مواد شیمیایی باقی‌مانده از درمان‌های دارویی (مانند سولفات مس، فرمالین، آنتی‌بیوتیک‌ها) (Selong & Helfrich, 1998) و همچنین پاتوژن‌ها یا ارگانیسم‌های مولد بیماری شامل میکروارگانیسم‌ها (ویروس‌ها، باکتری‌ها، پروتوزوآها و جلبک‌های سبز-آبی و قارچ‌ها) و ماکروارگانیسم‌ها (نماتدها و سخت‌پوستان) می‌باشد (Lakeh *et al.*, 2013; Edwards *et al.*, 1997). عدم تصفیه مناسب این آلاینده‌ها شرایط ناسالمی را ایجاد خواهد کرد که ممکن است منجر به کاهش ضریب تبدیل غذایی و نرخ رشد ماهی، افزایش بیماری و مرگ و میر شود (Zhu *et al.*, 2002). کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی شاخص‌های تعیین کیفیت آب می‌باشند که به گروه

بزرگی از باکتری‌های میله‌ای شکل و گرم منفی تعلق دارند. کلی فرم مدفوعی به کلی فرم‌هایی با منشأ مدفوعی اشاره دارد و در واقع باکتری‌های بی‌هوازی اختیاری و فاقد هاگ هستند. معمولاً بیش از ۹۵ درصد از کلی فرم‌های جدا شده از آب، ارگانیسم‌های روده‌ای (اشرشیاکلی) هستند و وجود آن‌ها دلیل واضحی بر آلودگی مدفوعی است (Bartram & Ballance, 1996; Sommer *et al.*, 1998). عامل اصلی مرگ و میر ناشی از بیماری در تأسیسات آبی‌پروری باکتری‌های بیماری‌زا (Middlemiss *et al.*, 2015) به‌ویژه باکتری‌های کلی فرم و هتروتروف می‌باشد (Gullian *et al.*, 2012).

گندزدایی پساب مزارع آبی‌پروری به سه روش شیمیایی، فیزیکی و فوتوشیمیایی انجام می‌شود. انتخاب نوع روش گندزدایی بستگی به پارامترهای کیفیت پساب، عدم استفاده یا استفاده مجدد از پساب، اثرات محیط‌زیستی و عوامل اقتصادی دارد (Acher *et al.*, 1997). استفاده از روش‌های زیستی و شیمیایی سنتی (مانند مالاشیت‌گرین و فرمالین) به دلیل نیاز به نیروی کار، پرهزینه بودن، سرعت کم حذف آلاینده‌ها و ایجاد عوارض محیط‌زیستی دارای محدودیت می‌باشند (Mumpton & Fishman, 1977; Sicuro *et al.*, 2006). استفاده از رس‌ها و ژئولیت‌ها نیز از جمله مواردی است که به‌طور محدود در سیستم‌های آبی‌پروری جهت حذف ترکیبات با بار مثبت و یون‌های فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bowman, 2003). یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده جهت تصفیه پساب آبی‌پروری، به‌کارگیری تابش‌های یون‌ساز است که سبب کاهش میزان ترکیبات باردار می‌شود. پرتوهای یون‌ساز به

تصفیه آب آشامیدنی و فاضلاب، تصفیه سطوح خاک و تصفیه هوای ساختمان‌ها روز به روز در حال گسترش می‌باشد (Bergmann *et al.*, 2002). اشعه فرابنفش در سیستم‌های مداربسته پرورش ماهی به‌طور گسترده استفاده می‌شود، با این حال مطالعات اندکی روی تأثیر آن در سیستم‌های باز آبی‌پروری گزارش شده است (Heikkinen *et al.*, 2013).

با توجه به مزیت‌های ذکر شده این روش و مقرون به صرفه بودن استفاده از این روش در افزایش بهره‌وری و کاهش تلفات ناشی از آلودگی‌ها در مزارع پرورش ماهی و سایر آبیان پرورشی، این مطالعه با هدف بررسی عملکرد دستگاه مکانیزه ضد عفونی‌کننده (UV) طراحی شده در کاهش تعداد پاتوژن‌های حوضچه‌های کانالی پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تحت شرایط مختلف انجام شد. همچنین تأثیر کدورت و دبی آب به‌عنوان عوامل محدودکننده بر میزان کارایی این روش در غیرفعال کردن پاتوژن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس بررسی‌های انجام شده در پژوهش حاضر تاکنون در کشور مطالعه جامعی که به بررسی اثر دوز اشعه فرابنفش بر حذف میکروارگانیسم‌هایی از قبیل مخمر، قارچ، کلی‌فرم کل و کلی‌فرم مدفوعی بپردازد انجام نشده و مطالعه حاضر با هدف پاسخگوئی به این سوال انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

### محدوده مورد مطالعه

مکان اجرای طرح مورد مطالعه در یک مزرعه پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با ظرفیت ۳۰ تن واقع در شهرستان کیار در ۳۰ کیلومتری مرکز استان چهارمحال و بختیاری بود. دستگاه گندزدایی UV طراحی شده (ساخت شرکت فن و ابتکار برتر) در قسمت خروجی آب کارگاه پرورش ماهی فوق نصب شد. نحوه قرارگیری دستگاه در کانال آب به صورت انعطاف‌پذیر می‌باشد و برای هر دبی و هر ارتفاع کانالی قابل استفاده می‌باشد. علاوه بر این نصب این دستگاه و قابلیت جابجایی آن بسیار ساده بوده و تعویض لامپ‌ها یا هر یک از قطعات آن توسط افراد غیرمتخصص به راحتی امکان‌پذیر است. وجود تورهای مش در جلوی دستگاه جهت یکنواخت‌سازی جریان آب و تابش یکسان به تمام سطوح آب است (شکل ۱).

پرتوهایی مانند آلفا، بتا، گاما، ایکس و نوترون اطلاق می‌شود که موجب یون‌سازی در مواد زیستی می‌شوند (Asgari Lajayer *et al.*, 2015) و از طریق تجزیه آب و متعاقب آن ایجاد رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل، هیدروژن و الکترون که واکنش‌پذیری قوی دارند، موجب تجزیه آلاینده‌ها و ترکیبات آلی می‌شوند (Duarte *et al.*, 2004). به‌عنوان نمونه، از نرنی قادر است از طریق کاهش اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی (BOD)، آمونیاک و نیتريت، کیفیت آب را بهبود بخشد و طیف وسیعی از پاتوژن‌های باکتریایی، ویروسی، قارچی و تک‌یاخته‌ای را غیرفعال کند (Meunpol *et al.*, 2003). با این حال، استفاده از نرنی در سیستم‌های مداربسته دارای محدودیت‌هایی است زیرا استفاده از نرنی در تصفیه پساب‌ها نسبت به بقیه روش‌ها گران‌تر بوده و تعیین دوز مؤثر آن دشوار است (Sicuro *et al.*, 2006). بنابراین یک روش جایگزین استفاده از تابش اشعه فرابنفش به‌عنوان یکی از رایج‌ترین روش‌های ضد عفونی آب می‌باشد. این اشعه از جمله پرتوهای غیریون‌ساز می‌باشد که با آسیب مستقیم به DNA ریزجانوران، توانایی تکثیر آن‌ها را کاهش داده و با تشکیل ترکیب‌های نوری مانند دایمر پیریمیدین موجب حذف انواع میکروارگانیسم‌ها از جمله باکتری‌های هوازی در پساب می‌شود (Heikkinen *et al.*, 2013; Bychkova *et al.*, 2020). به‌طور کلی از مزایای مهم استفاده از اشعه فرابنفش می‌توان به گندزدایی مؤثر و فوری روی طیف وسیعی از ارگانیسم‌ها، بی‌خطر بودن برای انسان، ماهی و محیط زیست، عدم تغییر خصوصیات فیزیکیوشیمیایی آب، هزینه مناسب آن و همچنین قابل کنترل بودن دوز مناسب این پرتو و سهولت کار کردن با آن اشاره کرد (Zhu *et al.*, 2002; Semenov & Semenova, 2023). با این حال، عملکرد این اشعه انتخابی نیست و ممکن است هم باکتری‌های مضر و هم باکتری‌های مفید را در محیط غیرفعال کند (Goncalves *et al.*, 2023). علاوه بر این، عواملی مانند کدورت، مواد آلی معلق، رنگ، مواد کلوییدی، تفرق و جذب اشعه که موجب کاهش شدت اشعه UV و ایجاد رسوب روی لامپ و در نهایت موجب کاهش عمر لامپ می‌شود، کارایی اشعه UV را تا حدودی کاهش می‌دهند (Asano, 2007). به هر حال، استفاده از این روش به‌عنوان یک فن‌آوری نوین در غالب برنامه‌های



شکل ۱- دستگاه UV نصب شده (مجهز به چهار لامپ) روی دریچه خروجی آب کارگاه پرورش ماهی قزل آلاي رنگين کمان واقع در شهرستان کيار

لامپ UV ديگر با زاويه ۱۲۰ درجه پيرامون لامپ UV مرکزی قرار داشت. تعداد لامپ‌های استفاده شده برای هر دبی آب براساس میزان نفوذ اشعه فرابنفش داخل آب می‌باشد و نحوه قرارگیری لامپ‌ها به صورتی است که تمام آب عبوری را با بالاترین راندمان پوشش می‌دهد.

**مشخصات کلی دستگاه مورد استفاده:** دستگاه مورد استفاده در این طرح که مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است، دارای کلینر اتوماتیک دو مرحله‌ای برای شستشوی سطح بیرونی لوله‌ها و سنسور اندازه‌گیری دوز اشعه UV در مواقع بالا رفتن کدورت آب بود. این دستگاه مجهز به چهار لامپ UV بود که یک لامپ در مرکز و سه

جدول ۱- قطعات اصلی دستگاه و جزئیات و مشخصات فنی کامل سیستم ضد عفونی فرابنفش

ردیف	نام قطعه یا قسمت	توضیحات و مشخصات فنی
۱	لامپ فرابنفش آمالگام UV-LAMPS-AMALGAM 320 W	لامپ فرابنفش ۴ پین یک طرفه با توان ۳۲۰ وات به طول ۱۵۹۰ میلی‌متر و قطر ۱۹ میلی‌متر
۲	بالاست الکترونیکی ۳۲۰ وات Electronic Ballast, for lamp 320w	هر بالاست برای راه‌اندازی و روشن کردن یک لامپ به کار می‌رود.
۳	سنسور اندازه‌گیری دوز فرابنفش و نمایشگر بی‌سیم	ماژول سنسور نور UV ولتاژ: ۳~۵V DC، جریان مصرفی: 0.06Ma (استاندارد) / 0.1mA (حداکثر)، طول موج پاسخ: 200-370nm، دمای کاری: ۲۰~۸۵°C، ولتاژ خروجی: DC 0-1V، دقت تست: 1 UV INDEX ± گیرنده بی‌سیم که با WIFI اطلاعات را دریافت و در صفحه نمایش نشان می‌دهد.
۴	میز نگهدارنده پنل‌های دستگاه در مدل UV-WTS5	میز با پروفیل‌های قوطی از جنس استیل به طول ۲۲۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر و عرض یک متر می‌باشد که پروفیل‌های U شکل به طول ۵۰ سانتی‌متر به‌عنوان ریل و نگهدارنده پنل‌های دستگاه تعبیه شده‌اند.

شده. نمونه‌برداری از آب قبل از نصب دستگاه و در کدورت‌های ایجاد شده جهت مقایسه تغییر در جمعیت پاتوژن‌ها به‌عنوان شاهد انجام شد. به‌منظور ایجاد کدورت‌های مصنوعی، از غذای اکستروود ماهی پس از حل نمودن مقادیر مشخص آن در آب استفاده شد و سپس اندازه‌گیری آن با دستگاه کدورت‌سنج (مدل آکوالیتیک) برحسب NTU انجام شد. مرحله اول آزمایش با استفاده از یک لامپ UV (۳۲۰ وات) و شدت ۶۰ میلی‌ژول بر سانتی‌متر

**نمونه‌برداری و سنجش پارامترهای کیفی آب:** با توجه به اهمیت میزان کدورت و دبی آب در تعیین میزان درصد انتقال UV این دو عامل در مطالعه حاضر بررسی شدند. بدین منظور، قبل و بعد از به‌کارگیری دستگاه UV، نمونه‌برداری از آب خروجی کارگاه پرورش ماهی در دبی‌های مختلف (۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه) و در کدورت‌ها (از ۳/۵ تا ۳۶/۲ NTU) و شدت‌های مختلف UV (۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ mW/cm<sup>2</sup>) انجام

کل میکروارگانیسم‌های موجود در نمونه‌های آب طبق روش‌های استاندارد مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان دوز UV به کدورت، شدت UV، مدت زمان اثر (که متأثر از دبی آب و حجم مخزن دستگاه UV می‌باشد) بستگی دارد. به‌منظور تعیین میزان دوز UV از رابطه (۱) استفاده شد (Summerfelt, 2003). هم‌چنین میزان انتقال اشعه UV عامل بسیار مهمی در تعیین میزان دوز اشعه می‌باشد. به‌منظور سنجش میزان انتقال اشعه UV از دستگاه اسپکتروفتومتر هک DR6000 ساخت کشور آلمان و با استفاده از رابطه (۲) استفاده شد. به‌منظور برآورد میزان حذف میکروارگانیسم‌ها (قارچ، مخمر، کلی‌فرم کل و کلی‌فرم مدفوعی) از رابطه (۳) استفاده شد (Sharrer & Summerfelt, 2007). هم‌چنین کاهش لگاریتمی میکروارگانیسم‌ها با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد (Sharrer & Summerfelt, 2007).

مربع (طبق اظهار سازنده دستگاه) در حوضچه‌ای با میزان دبی ۲/۵ لیتر بر ثانیه و در سه سطح کدورت (کدورت طبیعی آب کارگاه پرورش ماهی و دو کدورت مصنوعی ایجاد شده با استفاده از غذای ماهی) انجام شد. در مراحل بعدی آزمایش از دبی‌های بیشتر آب (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه) با کدورت‌های بیشتر و هم‌چنین میزان شدت‌های بالاتر UV جهت گندزدایی آب استفاده شد و هر کدام به‌طور جداگانه ثبت گردید. تعداد نمونه‌های آب برداشت شده از هر یک از شرایط ایجاد شده سه تکرار در نظر گرفته شد. جهت نمونه‌برداری آب به‌منظور آزمایشات میکروبی از ظروف شیشه‌ای بوریسیلیکات (حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر) از قبل استریل شده با درپوش پلاستیکی استفاده شد. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها همراه با یخ و در شرایط استاندارد در کمترین زمان ممکن (حدود ۳ ساعت) به آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد منتقل شدند. در نهایت میانگین شمارش

$$(1) \quad \text{شاخص عبور اشعه (مدت زمان در معرض قرارگیری) (شدت اشعه) = میزان دوز اشعه فرابنفش} \\ = (\text{شاخص عبور اشعه (دبی آب ورودی / سرعت آب)}) (\text{شدت اشعه}) = \text{میلی‌وات ثانیه بر سانتیمتر مربع}$$

$$(2) \quad \text{میزان انتقال اشعه فرابنفش } (10)^{-\Delta} \text{ (جذب اشعه فرابنفش) / (سانتیمتر} \times 100$$

$$(3) \quad \times (\text{شمارش اولیه} / \text{شمارش نهایی} - \text{شمارش اولیه}) = \text{میزان حذف میکروارگانیسم‌ها (درصد)} \times 100$$

$$(4) \quad \text{کاهش لگاریتمی میکروارگانیسم‌ها} = (100 / \text{درصد حذف میکروارگانیسم‌ها} - 1) \text{ منفی لگاریتم } 10$$

آلوده‌تر رقیق‌سازی برای ۰/۱ سی‌سی انجام شود و سپس ضریب رقت را لحاظ کرد. **شناسایی و شمارش قارچ‌ها و مخمرها:** جهت انجام آزمایش برای تعیین تعداد قارچ از روش 9610 C. Spread Plate Technique مطابق با کتاب استاندارد متد ویرایش ۲۰۱۷ استفاده شد. ابتدا محیط کشت بیست اکسراکت آگار (YEA) را استریل و در پلیت‌ها تقسیم کرده، به‌حدی که ضخامت محیط کشت در هر پلیت حدود ۴ میلی‌متر بود. پس از جامد شدن محیط کشت، درب هر پلیت را روی آن قرار داده و پس از نام‌گذاری آن‌ها و گذاشتن آن‌ها به صورت وارونه در کیسه پلاستیکی، تا زمان آزمایش در یخچال نگهداری شدند. هنگام آزمایش در یک ظرف استریل مقداری آب مقطر استریل و مقدار مشخصی

**سنجش کلی‌فرم کل و کلی‌فرم مدفوعی:** به‌منظور سنجش میزان کلی‌فرم و کلی‌فرم مدفوعی از روش کتاب استاندارد متد استفاده شد. بدین منظور محیط کشت‌های استاندارد مطابق روش بیشترین تعداد احتمالی (روش MPN) و محیط‌های لوریل سولفات برات، berliant green و EC Broth تهیه شد. در این روش، ۱۵ لوله حاوی ۵ لوله دوغلظتی محیط کشت و ۱۰ لوله تک‌غلظتی روی میز قرار داده شد. در ۵ لوله دوغلظتی هرکدام ۱۰ سی‌سی نمونه (بعد از همگن کردن نمونه‌ای که در دمای ۴ درجه نگهداری شده بود) و در ۵ لوله بعدی تک‌غلظتی میزان یک سی‌سی نمونه و ۵ لوله سوم (تک‌غلظتی) ۰/۱ سی‌سی نمونه ریخته شد که بهتر است برای نمونه‌های

مخمر، کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی انجام شد. به منظور بررسی تغییرات درصد حذف میکروارگانیسم‌ها در دوزهای مختلف UV از رگرسیون پروبیت (Probit) در محیط نرم‌افزار SPSS در سطح آماری ۰/۰۰۱ استفاده شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel 2016 انجام گرفت.

## نتایج

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که به‌منظور افزایش راندمان حذف میکروارگانیسم‌ها در آب، با افزایش دبی آب به دوزهای بیشتری از اشعه فرابنفش نیاز است. در شکل ۲ میزان تغییرات دوز UV با افزایش دبی آب نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش دبی آب میزان دوز UV کاهش محسوسی را نشان می‌دهد. این نشان می‌دهد که برای هر دبی از دوز و شدت UV مناسب جهت حذف مطلوب میکروارگانیسم‌های هدف استفاده کرد.

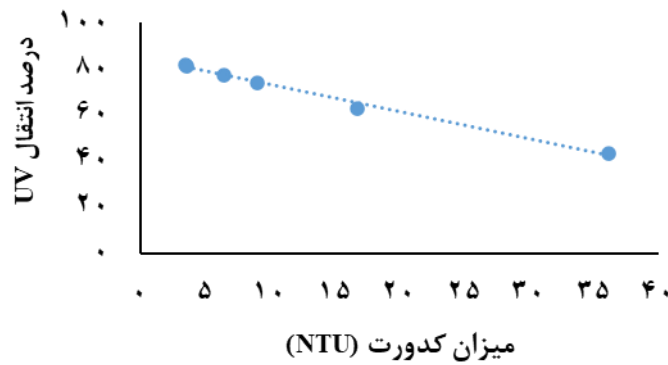


شکل ۲- میانگین تغییرات میزان دوز UV با افزایش دبی آب

هم‌چنین نتایج نشان داد که با افزایش کدورت، درصد انتقال UV و به تبع آن میزان دوز UV کاهش پیدا می‌کند. بنابراین در کدورت‌های بالای آب نیز می‌بایست دوزهای بیشتری از اشعه فرابنفش تابانده شود تا بیشترین حذف میکروارگانیسم‌ها اتفاق بیفتد. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است با افزایش کدورت آب درصد انتقال UV در آب کاهش محسوسی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد در دوزهای ۱۸۵ و ۱۶۷ تراکم کلی فرم کل و مدفوعی ۳/۲ log و تراکم کلنی‌های قارچ و مخمر بین ۰/۷ تا ۱/۶ log کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین در دوز

از نمونه اضافه کرده تا رقت مناسب به دست آید. سپس آن ظرف روی شیکر با ۱۵۰ دور در دقیقه به مدت نیم‌ساعت قرار داده شد. مقدار ۱ میلی‌لیتر از نمونه‌ی رقیق شده به محیط کشت انتقال داده شد و با لوله‌های L شکل (Spreader) به‌طور یکنواخت در محیط کشت پخش گردید. بعد از تلقیح کمی صبر کرده تا محیط کشت خشک شود. سپس به صورت وارونه در درجه حرارت ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ الی ۷ روز قرار داده شد. برای شمارش قارچ‌ها از کلنی کانتر استفاده شد. سپس میانگین تعداد کل قارچ‌های شمارش شده برای هر نمونه در ضریب رقت آن‌ها ضرب شد. واحد شمارش قارچ و مخمرها براساس تعداد کلنی‌های رشد یافته در محیط‌های کشت برحسب (CFU) در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه اصلی بود.

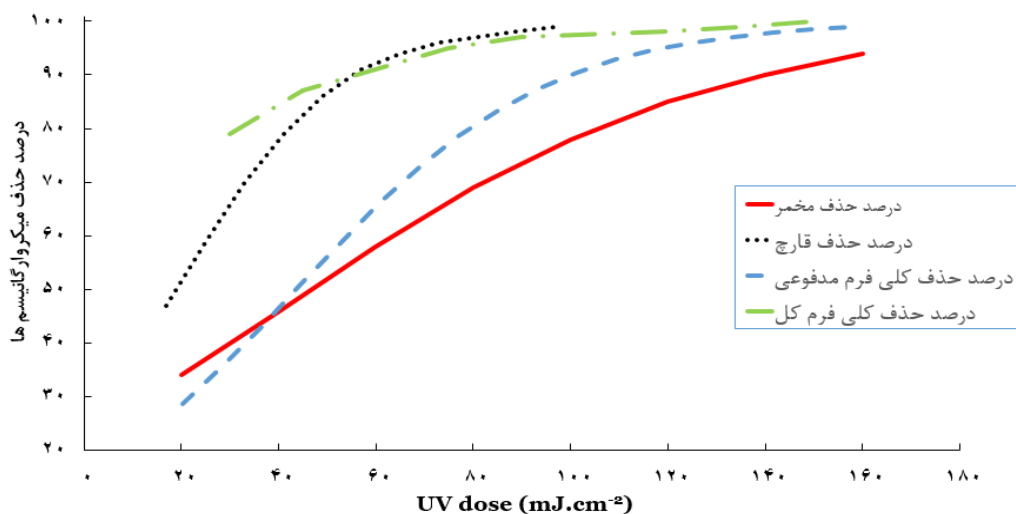
**آنالیز آماری:** نمونه‌برداری در دبی‌های مختلف (۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه) در سه تکرار در آب خروجی کارگاه پرورش ماهی قبل و بعد از دستگاه UV در کدورت‌ها و شدت‌های مختلف UV (۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ mW/cm<sup>2</sup>) انجام شد. سپس شمارش کل قارچ،



شکل ۳- میانگین تغییرات میزان درصد انتقال UV با افزایش کدورت آب

ولی برای حذف کامل مخمرها بسته به میزان دبی آب و کدورت آب به طور قابل ملاحظه‌ای به دوز بیشتری از اشعه UV احتیاج است (تا حداکثر  $240 \text{ mJ/cm}^2$ ). به طور کلی در دوز حدود  $20 \text{ mJ/cm}^2$  حذف تدریجی میکروارگانیسم‌ها شروع می‌شود و در دوزهای بالاتر از  $120 \text{ mJ/cm}^2$  از شدت حذف میکروارگانیسم‌ها کاسته می‌شود.

به منظور مقایسه بهتر نتایج حذف میکروارگانیسم‌ها در دوزهای مختلف UV از آزمون رگرسیون پروبیت (Probit) در محیط نرم افزار SPSS استفاده گردید. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش دوز UV، درصد حذف کلی فرم کل، مدفوعی، قارچ و مخمر افزایش پیدا می‌کند (شکل ۴). در دوز حدود  $100-120 \text{ mJ/cm}^2$  تقریباً حذف کامل کلی فرم کل، کلی فرم مدفوعی و قارچ‌ها صورت می‌گیرد.



شکل ۴- میانگین تغییرات درصد حذف میکروارگانیسم‌ها در دوزهای مختلف UV

### بحث

گندزدایی با استفاده از اشعه فرابنفش در سیستم‌های آبی‌پروری متراکم به منظور جلوگیری از تجمع باکتری‌های هتروتروف و کلی فرم آب رایج است. جهت رسیدن به میزان گندزدایی مطلوب، یک حداقل دوز UV نیاز است که میزان دوز UV به شدت UV، مدت زمان در معرض بودن میکروارگانیسم‌ها و میزان انتقال UV در آب بستگی دارد.

همچنین نتایج رگرسیون پروبیت نشان داد در دوز  $30/31 \text{ mJ/cm}^2$ ،  $20/2 \text{ mJ/cm}^2$ ،  $40/50 \text{ mJ/cm}^2$  و  $14/36 \text{ mJ/cm}^2$  به ترتیب پنجاه درصد جمعیت مخمر ( $Z=16$ ،  $P<0/001$ )، قارچ ( $Z=13/5$ ،  $P<0/001$ )، کلی فرم مدفوعی ( $Z=22/77$ ،  $P<0/001$ ) و کلی فرم کل ( $Z=6/8$ ،  $P<0/001$ ) حذف خواهد شد.

سپس تکثیر DNA آن‌ها مسدود شده و در نتیجه سلول غیرفعال می‌شود (Pullerits *et al.*, 2020). بنابراین بسته به ارگانیسم هدف و نرخ حذف ارگانیسم‌ها، دوزهای پرتو فرابنفش مورد استفاده در آبی‌پرووری می‌تواند از  $2 \text{ mW s/cm}^2$  تا بیش از  $230 \text{ mW s/cm}^2$  (Summerfelt, 2003; Sharrer *et al.*, 2005) و طول موج‌های با شدت 100 تا 400 نانومتر (Middlemiss *et al.*, 2015) متغیر باشد. به طوری که برای ضد عفونی آب آشامیدنی معمولاً دوز  $40 \text{ mJ/cm}^2$  (Sommer *et al.*, 2017; Wen *et al.*, 1998)، برای عملکرد دستگاه تفریخ ماهی و سیستم‌های مدار بسته شدت تابش حداقل  $2 \text{ mJ/m}^2$  (Semenov & Semenova, 2023)، برای حذف باکتری‌های قابل کشت آب دریا (*Kudoa neurophila*) دوز  $40 \text{ mJ/cm}^2$  (Cobcroft & Battaglene, 2013) و برای ضد عفونی رایج ترین باکتری‌ها در آبی‌پرووری دوز معمولی  $30\text{--}35 \text{ mWs/cm}^2$  مورد نیاز است (Halil & Karacalar, 2018) و این می‌تواند به علت حساسیت ژن‌های خاص در ژنوم باکتری‌های تحت تابش اشعه فرابنفش باشد (Pullerits *et al.*, 2020).

در این مطالعه مشاهده رشد سریع کلنی‌ها در آب خروجی کارگاه قبل از به کارگیری دستگاه ضد عفونی کننده UV حاکی از آلودگی میکروبی بالای آب بود. به هر حال پس از استفاده از اشعه فرابنفش با دوز  $20 \text{ mJ/cm}^2$  حذف باکتری‌ها شروع شد و در دوزهای حدود  $120 \text{ mJ/cm}^2$  - 100 تقریباً حذف کامل کلی‌فرم کل، کلی‌فرم مدفوعی و قارچ‌ها صورت گرفت. البته با افزایش دوز UV، بقای باکتری‌ها ابتدا به طور قابل توجهی کاهش و سپس در حد ثابتی باقی ماند که با نتایج محققین دیگر هم‌خوانی دارد (Mamane *et al.*, 2010). مطابق با نتایج به دست آمده در این طرح مطالعات دیگر نیز دوز لازم برای غیرفعال کردن باکتری‌ها و قارچ‌ها را  $100 \text{ mJ/cm}^2$  (Semenov & Semenova, 2023) و برای باکتری‌های هتروتروف،  $100\text{--}120 \text{ s/cm}^2$  (Liltved *et al.*, 1995; Sharrer *et al.*, 2005; Huyben *et al.*, 2018) بیان کردند و نشان داد که باکتری‌های کلی‌فرم کل و کلی‌فرم‌های مدفوعی نسبت به جمعیت کلی باکتری‌های هتروتروف به نور 254 نانومتر حساس‌تر هستند (Oliver & Cosgrove, 1975; Gullian *et al.*, 2012). به عنوان مثال در مطالعاتی با

بنابراین دوز واقعی UV، به دبی آب، حجم مخزن دستگاه (دبی و حجم مخزن تعیین کننده مدت زمان اثرگذاری UV می‌باشند)، شدت اشعه و میزان انتقال UV (که به صورت درصد بیان می‌شود) دارد. استفاده از اشعه لامپ UV، بقایای سمی یا فروآورده‌هایی که منجر به آسیب به آبی‌زیان شود تولید نمی‌کند.

در این مطالعه سنسور تنظیم دوز اشعه فرابنفش (از صفر تا بیش از  $200 \text{ mJ/cm}^2$ ) در دستگاه طراحی شده تعبیه شد تا بتوان با توجه به شرایط و کیفیت آب به صورت دستی میزان آن را کاهش یا افزایش داد. با توجه به تفاوت حساسیت باکتری‌ها، ویروس‌ها و تک یاخته‌های بیماری‌زا به اشعه فرابنفش، تغییر حداقل دوز را برای اطمینان از گندزدایی ایمن آب نیاز است (Sommer *et al.*, 1998). در این زمینه تحقیقات مختلف نشان دادند که تعداد زیادی از پاتوژن‌های ماهی در دوز  $30 \text{ mWs/cm}^2$  از بین می‌روند. به هر حال، قبل از این که دوز UV بتواند به میکروارگانیسم هدف برسد باید از آب عبور کند و بنابراین میزان انتقال UV به منظور تعیین میزان شدت UV و نهایتاً میزان دوز UV مورد نیاز مهم می‌باشد (Mamane, 2008). از طرف دیگر، برخی از پاتوژن‌ها برای غیرفعال شدن ممکن است به دوزهای تابش بسیار بالاتری از اشعه فرابنفش نیاز داشته باشند. بنابراین باید در تعیین دوز مؤثر اشعه فرابنفش دقت کرد (Summerfelt, 2003) و این دوز را بسته به سرعت جریان و مقدار انتقال انرژی اشعه به داخل آب تغییر داد (Gullian *et al.*, 2012). هم‌چنین باید در نظر داشت که آب در شرایط مناسب و در مدت زمان کافی با اشعه تماس داشته باشد (Halil & Karacalar, 2018). به کارگیری اشعه فرابنفش با شدت بالا و زمان کمتر نسبت به طولانی کردن مدت زمان با همان دوز تأثیرپذیری بیشتری دارد، این اثر ممکن است به دلیل آنزیم‌های ترمیم کننده سلول باشد که در شدت‌های بالا بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Sommer *et al.*, 1998). مکانیسم تأثیر اشعه فرابنفش بر باکتری‌ها بسته به نوع باکتری متفاوت بوده (Pullerits *et al.*, 2020) و عمدتاً از طریق آسیب به اسیدهای نوکلئیک بدون تخریب دیواره سلولی (Wen *et al.*, 2017) صورت می‌گیرد. بدین ترتیب که در طول موج بین 200 تا 300 نانومتر (260 تا 265 نانومتر) جذب نور UV توسط نوکلئوتیدها اتفاق می‌افتد،



مداخله‌گر مانند حباب‌های ریزی که از طریق پمپ ایجاد می‌شوند (Mamane et al., 2010) باشد. زیرا تابش اشعه فرابنفش ممکن است در آب کدر به دلیل انتقال ضعیف کارایی نداشته باشد (Summerfelt, 2003). در این مطالعه کدورت آب از طریق حل کردن غذا در آب ایجاد شد. علت استفاده از این روش، شبیه‌سازی مصرف روزانه غذا توسط ماهی به‌ویژه در سیستم‌های فوق متراکم (تقریباً ۲٪ از زیست‌توده ماهی) است که مقدار زیادی فضولات و مواد دفعی تولید شده و باعث افزایش کدورت آب و رشد باکتری‌های هتروتروف در آب می‌شود (Gullian et al., 2012). هم‌راستا با مطالعات گذشته از جمله Mamane و همکاران در سال ۲۰۱۰، در این مطالعه نیز با افزایش دبی آب و کدورت آب، راندمان حذف میکروارگانیسم‌های هدف کاهش یافت. زیرا اشعه فرابنفش همیشه نمی‌تواند به داخل ذرات معلق نفوذ کند تا به باکتری‌های جاسازی شده برسد و به همین دلیل غیرفعال کردن ۱۰۰ درصد باکتری‌ها حتی در دوزهای بیش از حد این اشعه در یک جریان مشخص دشوار است (Sharrer et al., 2005). تجمع این ذرات می‌تواند باکتری‌ها را احاطه کرده و با جذب، پراکندگی و مسدود کردن اشعه فرابنفش از آن‌ها در برابر آسیب محافظت کند. به عبارت دیگر این عوامل با کاهش نفوذ انرژی اشعه به داخل آب، اثرگذاری آن را کاهش داده و بر دوز دریافتی تأثیر می‌گذارند. از این‌رو برای افزایش کارایی آن باید از مدت زمان تماس یا دوزهای بیشتری از اشعه استفاده کرد و این یکی از اشکالات استفاده از UV در ضدعفونی آب می‌باشد (Liltved & Landfald, 1995; Sharrer & Summerfelt, 2007; Mamane, 2008; Gullian et al., 2012). مطالعات گذشته نیز علت کاهش غیرفعال‌سازی باکتری‌های هتروتروف با اشعه فرابنفش به علت وجود ذراتی بود که باکتری‌ها در آن‌ها جاسازی شده بودند یا تجمع‌های باکتریایی (کلنی) تشکیل داده بودند و لذا به طور مؤثری در برابر تابش UV محافظت می‌شدند (Liltved & Landfald, 1995; Gómez et al., 2007; Bayo et al., 2008; Mamane et al., 2010; Lakeh et al., 2013; Cobcroft & Battaglene, 2013; Huyben et al., 2018; Pullerits et al., 2020). از این‌رو، برای اهداف آبی‌پروری در صورت ظاهر شدن ذرات در آب،

شرایط مختلف، غیرفعال‌سازی کامل آن‌ها در دوزهای  $95 \text{ mJ/cm}^2$  (Sharrer et al., 2005) و  $77 \text{ mW s/cm}^2$  (Sommer et al., 2008) و  $80-100 \text{ J/m}^2$  (Bayo et al., 2008) و  $81 \text{ J/m}^2$  (Pullerits et al., 2020) گزارش شده است. در مطالعات دیگر برای غیرفعال‌سازی سایر میکروارگانیسم‌ها مانند باکتری مایکوباکتریوم آویوم، دوز  $128 \text{ J/m}^2$  (Pullerits et al., 2020)، برای باکتری *Flavobacterium psychrophilum* دوز  $126 \text{ mW s/cm}^2$  (Hedrick et al., 2000) و برای حذف باکتری‌های گرم منفی و رابدیروس‌های ماهی، ویروس‌های هرپس و ایریدوویروس‌ها، دوز  $104 \text{ mW s/cm}^2$  (Kasai et al., 2002) گزارش شده است. همچنین برای حذف باکتری‌ها در مخازن پرورش لارو لابستر، دوز  $577 \text{ mW s/cm}^2$  (Goncalves et al., 2023) و برای غیرفعال کردن کل باکتری‌های تریاکتینومیکسون در سیستم مداربسته ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان دوز  $1300 \text{ mW s/cm}^2$  (Hedrick et al., 2000) مورد نیاز است. علت استفاده از دوزهای نسبتاً بالای اشعه موردنیاز برای حذف پاتوژن‌ها در مطالعات مختلف ممکن است به علت تفاوت در طول موج منبع اشعه فرابنفش (Rodriguez & Gagnon, 1991; Hunter et al., 1998) نوع آب موردنیاز برای تصفیه (آب آشامیدنی یا فاضلاب)، مدت زمان تماس اشعه با آب (Sommer et al., 1998; Gómez et al., 2007) کدورت، مقدار انرژی تابشی به آب (Semenov & Semenova, 2023) شدت و سرعت جریان آب (Gullian et al., 2012)، فیلتر کردن آب قبل از به‌کارگیری اشعه فرابنفش (Bayo et al., 2008) و کنترل ناکارآمد پاتوژن‌ها توسط تابش اشعه فرابنفش (Huyben et al., 2018) باشد. علاوه‌براین، علت وجود تفاوت در دوزهای UV احتمالاً می‌تواند به دلیل کدورت آب یا وجود عواملی مانند مواد جامد معلق (Koivunen & Heinonen-Tanski, 2005) وجود مواد آلی و معدنی محلول (Jorquera et al., 2002) ترکیبات آهن و مواد آلی به‌عنوان هیومیک (Mamane et al., 2010; Heikkinen et al., 2013) وجود رنگ، آهن (Oliver & Cosgrove, 1975) فیتوپلانکتون‌ها، جلبک‌ها (Gullian et al., 2012)، ورود میکروارگانیسم‌های جدید از طریق جریان آب ورودی به مخازن پرورش (Goncalves et al., 2023) و وجود عوامل

مقایسه نتایج این مطالعه با برخی مطالعات دیگر نشان داد که سویه‌های باکتریایی موجود در محیط‌های طبیعی و کارگاه‌های پرورش آبزیان در مقایسه با باکتری‌های کشت شده در آزمایشگاه، مقاومت بیشتری در برابر اشعه فرابنفش دارند. طبق نتایج این تحقیق استفاده از اشعه فرابنفش نقش بسیار مؤثری در حذف آلودگی‌های باکتریایی و قارچی داشت و لذا انتقال این نوع آلاینده‌ها به محیط و منابع آبی پایین دست می‌تواند کاهش چشم‌گیری پیدا کند. علاوه بر این، با استفاده از این روش تا حدود زیادی آثار مخرب محیطی و اقتصادی زیان‌بار گندزدهای متداول امروزی به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. بنابراین، با توجه به تنوع دستگاه‌های UV تولید شده در بازار و متناسب با شرایط هر کارگاه (دبی آب، تراکم ماهی و میکروارگانیسم‌های هدف)، می‌توان از این روش در کارگاه‌های پرورش آبزیان استفاده کرد و به حداکثر بهره‌وری دست یافت. احداث حوضچه رسوب‌گیر و فیلتر کردن آب با روش‌های مختلف مانند استفاده از فیلترهای شنی قبل از استفاده از اشعه فرابنفش به‌منظور کاهش بار ذرات معلق در آب و افزایش کارایی دستگاه ضد عفونی کننده برای انجام این طرح در آینده پیشنهاد می‌شود.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از اداره کل دامپزشکی استان چهارمحال و بختیاری به‌دلیل حمایت مالی در به انجام رسیدن این طرح، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

### منابع

1. Acher, A., Fischer, E., Turnheim, R. and Manor, Y., 1997. Ecologically friendly wastewater disinfection techniques. *Water research*, 31 (6), 1398-1404.
2. Asgari Lajayer, H., Najafi, N. and Moghiseh, E., 2015. Study of the mechanisms of gamma rays in purification and disinfection of sewage sludge. *Journal of Radiation and Nuclear Technology*, Vol. 2 / No. 1. 9-23. In Persian with English abstract.
3. Bartram, J. and Ballance, R., eds., 1996. *Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. CRC Press.

فیلتراسیون مناسب آب قبل از تصفیه UV باید ارزیابی شود (Heikkinen *et al.*, 2013; Mamane *et al.*, 2010). وجود قارچ‌ها در سیستم‌های آبرسانی باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی (مانند بو، طعم، کدورت، تشکیل میکوتوکسین‌ها) (Wen *et al.*, 2019) و واکنش‌های آلرژیک و عفونت‌های سیستمیک در افراد دارای نقص ایمنی می‌شود. بنابراین روش‌های ضد عفونی کارآمد برای کنترل قارچ‌ها مورد نیاز است. اسپوره‌های قارچ‌ها مقاومت متفاوتی در برابر تابش اشعه فرابنفش دارند. گونه‌هایی که اسپوره‌های بزرگ‌تر و رنگدانه‌دار دارند نسبت به گونه‌هایی که اسپور کوچک‌تر و شفاف دارند، در برابر اشعه فرابنفش مقاوم‌تر هستند. همچنین به‌دلیل وجود هسته در اسپوره‌های قارچ، تابش اشعه فرابنفش در رسیدن به DNA و آسیب رساندن به آن مشکل بیشتری دارد، بنابراین منجر به مقاومت بالای اسپور قارچ در برابر UV می‌شود. عواملی مانند آهن، منگنز و کربن آلی نیز ممکن است نور UV را جذب کرده و از غیرفعال شدن قارچ‌ها جلوگیری کنند (Wen *et al.*, 2017). در واقع عدم حذف اسپورها در مرحله ضد عفونی به این علت است که آن‌ها در یک فرم محصور شده پایدار وجود دارند که آن‌ها را نسبتاً در برابر تابش UV مقاوم می‌کند (Bergmann *et al.*, 2002). به همین دلیل قارچ‌هایی مانند ساپروولگنیا برای غیرفعال شدن به دوزهای بالاتری از پرتو فرابنفش نیاز دارند (Sharrer *et al.*, 2005). در این مطالعه مقاومت قارچ‌ها و مخمرها در برابر اشعه فرابنفش بیشتر از باکتری کلی‌فرم بود و برای حذف کامل آن‌ها به مراتب به دوز بیشتری از اشعه UV احتیاج بود و این ممکن است به‌دلیل اندازه بزرگتر اسپورها و ساختار پیچیده‌تر آن‌ها باشد. زیرا بین قارچ‌ها و باکتری‌ها از نظر اندازه سلول، ترکیب سلولی و ماده ژنتیکی تفاوت قابل توجهی وجود دارد (Wen *et al.*, 2019) و اسپوره‌های قارچی بزرگ‌تر، به‌دلیل جذب سیتوپلاسمی بیشتر اشعه فرابنفش قبل از رسیدن به هسته راندمان غیرفعال‌سازی آن‌ها کمتر می‌شود (Wen *et al.*, 2017). یک احتمال دیگر می‌تواند به‌دلیل عملکرد حافظتی انجام شده توسط ناخالصی‌های موجود در آب باشد که با کاهش انتقال اشعه فرابنفش می‌تواند سلول‌ها را از آسیب اشعه فرابنفش محافظت کند (Wen *et al.*, 2019).

- stages of *Myxobolus cerebralis*: a treatment for hatchery water supplies. *Diseases of aquatic organisms*, 42 (1), 53-59.
15. **Hunter, G.L., O'Brien, W.L., Hulsey, R.A., Carns, K.E. and Ehrhard, R., 1998.** 'Medium-pressure ultraviolet lamps and other systems are considered for wastewater application. *Water Envir. Tech.*, 6, p.41.
  16. **Huyben, D., Bevan, D., Stevenson, R., Zhou, H. and Moccia, R., 2018.** Evaluation of membrane filtration and UV irradiation to control bacterial loads in recirculation aquaculture systems. *Aquaculture International*, 26, 1531-1540.
  17. **Jorquera, M.A., Valencia, G., Eguchi, M., Katayose, M. and Riquelme, C., 2002.** Disinfection of seawater for hatchery aquaculture systems using electrolytic water treatment. *Aquaculture*, 207 (3-4), 213-224.
  18. **Kasai, H., Yoshimizu, M. and Ezura, Y., 2002.** Disinfection of water for aquaculture. *Fisheries science*, 68 (sup1), 821-824.
  19. **Koivunen, J. and Heinonen-Tanski, H., 2005.** Inactivation of enteric microorganisms with chemical disinfectants, UV irradiation and combined chemical/UV treatments. *Water research*, 39 (8), 1519-1526.
  20. **Lakeh, A.A.B., Kloas, W., Jung, R., Ariav, R.A. and Knopf, K., 2013.** Low frequency ultrasound and UV-C for elimination of pathogens in recirculating aquaculture systems. *Ultrasonics sonochemistry*, 20 (5), 1211-1216.
  21. **Liltved, H. and Landfald, B., 1995.** Use of alternative disinfectants, individually and in combination, in aquacultural wastewater treatment. *Aquaculture Research*, 26 (8), 567-576.
  22. **Liltved, H., Hektoen, H. and Efraimsen, H., 1995.** Inactivation of bacterial and viral fish pathogens by ozonation or UV irradiation in water of different salinity. *Aquacultural Engineering*, 14 (2), 107-122.
  23. **Liu, X., Li, G., Liu, Z., Guo, W. and Gao, N., 2010.** Water pollution characteristics and assessment of lower reaches in Haihe River Basin. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 199-206.
  24. **Mamane, H., 2008.** Impact of particles on UV disinfection of water and wastewater effluents: a review. *Reviews in Chemical Engineering*, 24 (2-3), 67-157.
  25. **Mamane, H., Colorni, A., Bar, I., Ori, I. and Mozes, N., 2010.** The use of an open channel, low pressure UV reactor for water treatment in low head recirculating aquaculture systems (LH-RAS). *Aquacultural engineering*, 42 (3), 103-111.
  4. **Bayo, J., Angosto, J.M. and Ayala, P., 2008.** Disinfection efficiency of secondary effluents with ultraviolet light in a Mediterranean area. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 111, 511-520.
  5. **Bowman, R.S., 2003.** Applications of surfactant-modified zeolites to environmental remediation. *Microporous and mesoporous materials*, 61 (1-3), 43-56.
  6. **Bychkova, L.I., Nikiforov-Nikishin, D.L., Ponomarev, A.K. and Bugaev, O.G., 2020.** August. Evaluating the UV radiation effectiveness in industrial aquaculture. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 548, No. 4, p. 042046). IOP Publishing.
  7. **Cobcroft, J.M. and Battaglene, S.C., 2013.** Ultraviolet irradiation is an effective alternative to ozonation as a sea water treatment to prevent *Kudoa neurophila* (Mycozoa: Myxosporidia) infection of striped trumpeter, *Lateolabrax lineatus* (Forster). *Journal of fish diseases*, 36 (1), 57-65.
  8. **Duarte, C.L., Ribeiro, M.A., Sato, I.M. and de O., Sampa, M.H., 2004.** Efficiency of organic compounds removal by electron-beam irradiation in presence of high metal concentration. *Radiation Physics and Chemistry*, 71 (1-2), 451-454.
  9. **Edwards, D.R., Coyne, M.S., Daniel, T.C., Vendrell, P.F., Murdoch, J.F. and Moore Jr, P.A., 1997.** Indicator bacteria concentrations of two northwest Arkansas streams in relation to flow and season. *Transactions of the ASAE*, 40 (1), 103-109.
  10. **Gómez, M., Plaza, F., Garralón, G., Pérez, J. and Gómez, M.A., 2007.** A comparative study of tertiary wastewater treatment by physico-chemical-UV process and macrofiltration-ultrafiltration technologies. *Desalination*, 202 (1-3), 369-376.
  11. **Goncalves, R., Aalto, S.L. and Lund, I., 2023.** The Effect of UV Irradiation on Rearing Water Quality, Growth, and Survival of European Lobster (*Homarus gammarus*, L.) Larvae. *Aquaculture Research*, 2023.
  12. **Gullian, M., Espinosa-Faller, F.J., Núñez, A. and López-Barahona, N., 2012.** Effect of turbidity on the ultraviolet disinfection performance in recirculating aquaculture systems with low water exchange. *Aquaculture Research*, 43 (4), 595-606.
  13. **Halil, Ş.E.N. and Karacalar, U., 2018.** Designing of ultraviolet irradiation unit: Effects on disinfection performance and operating costs. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 35 (2), 121-124.
  14. **Hedrick, R.P., McDowell, T.S., Marty, G.D., Mukkatira, K., Antonio, D.B., Andree, K.B., Bukhari, Z. and Clancy, T., 2000.** Ultraviolet irradiation inactivates the waterborne infective

- freshwater recirculating system. *Aquacultural Engineering*, 37 (2), 180-191.
35. **Sharrer, M.J., Summerfelt, S.T., Bullock, G.L., Gleason, L.E. and Taeuber, J., 2005.** Inactivation of bacteria using ultraviolet irradiation in a recirculating salmonid culture system. *Aquacultural Engineering*, 33 (2), 135-149.
  36. **Sicuro, B., Prearo, M. and Forneris, G., 2006.** The effect of disinfection with ozone in restocking brown trout farm in north Italy. *Ittiopatologia*, 3, 43-56.
  37. **Sommer, R., Haider, T., Cabaj, A., Pribil, W. and Lhotsky, M., 1998.** Time dose reciprocity in UV disinfection of water. *Water science and technology*, 38 (12), 145-150.
  38. **Summerfelt, S.T., 2003.** Ozonation and UV irradiation—an introduction and examples of current applications. *Aquacultural engineering*, 28 (1-2), 21-36.
  39. **Tacon, A.G. and Forster, I.P., 2003.** Aquafeeds and the environment: policy implications. *Aquaculture*, 226 (1-4), 181-189.
  40. **Wen, G., Wan, Q., Deng, X., Cao, R., Xu, X., Chen, Z., Wang, J. and Huang, T., 2019.** Reactivation of fungal spores in water following UV disinfection: effect of temperature, dark delay, and real water matrices. *Chemosphere*, 237, p.124490.
  41. **Wen, G., Xu, X., Zhu, H., Huang, T. and Ma, J., 2017.** Inactivation of four genera of dominant fungal spores in groundwater using UV and UV/PMS: Efficiency and mechanisms. *Chemical Engineering Journal*, 328, 619-628.
  42. **Zhu, S., Saucier, B.B., Chen, S. and Durfey, J.E., 2002.** Evaluation of UV disinfection performance in recirculating systems.
  26. **Meunpol, O., Lopinyosiri, K. and Menasveta, P., 2003.** The effects of ozone and probiotics on the survival of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Aquaculture*, 220 (1-4), 437-448.
  27. **Middlemiss, K.L., Daniels, C.L., Urbina, M.A. and Wilson, R.W., 2015.** Combined effects of UV irradiation, ozonation, and the probiotic *Bacillus* spp. on growth, survival, and general fitness in European lobster (*Homarus gammarus*). *Aquaculture*, 444, 99-107.
  28. **Mumpton, F.A. and Fishman, P.H., 1977.** The application of natural zeolites in animal science and aquaculture. *Journal of Animal Science*, 45 (5), 1188-1203.
  29. **Oliver, B.G. and Cosgrove, E.G., 1975.** The disinfection of sewage treatment plant effluents using ultraviolet light. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 53 (2), 170-174.
  30. **Pullerits, K., Ahlinder, J., Holmer, L., Salomonsson, E., Öhrman, C., Jacobsson, K., Dryselius, R., Forsman, M., Paul, C.J. and Rådström, P., 2020.** Impact of UV irradiation at full scale on bacterial communities in drinking water. *NPJ Clean Water*, 3 (1), p.11.
  31. **Rodriguez, J. and Gagnon, S., 1991.** Liquid purification by UV radiation, and its many applications. *Ultrapure Water*, 8 (6), 22-24.
  32. **Selong, J.H. and Helfrich, L.A., 1998.** Impacts of trout culture effluent on water quality and biotic communities in Virginia headwater streams. *The Progressive Fish-Culturist*, 60 (4), 247-262.
  33. **Semenov, A. and Semenova, K., 2023.** Ultraviolet disinfection of water in recirculating aquaculture system: a case study at sturgeon caviar fish farm. *Acta agriculturae Slovenica*, 118 (3), 1-4.
  34. **Sharrer, M.J. and Summerfelt, S.T., 2007.** Ozonation followed by ultraviolet irradiation provides effective bacteria inactivation in a





## Investigating The Effect of Mechanized Disinfectant Device Using Ultraviolet Radiation on the Outlet of Rainbow Trout Farm

Rasool Zamani-Ahmadm Mahmoodi<sup>1\*</sup>, Esmacil Pirali Kheirabadi<sup>2</sup>, Hossein Rahimi Pordanjani<sup>2</sup>

1\*. Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

2. Department of Fisheries Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

### Original Article

**Received:**  
2023.07.15

**Accepted:**  
2023.12.23

**Keywords:**  
Aquaculture,  
Disinfection,  
Ultraviolet  
Radiation,  
Turbidity

### Abstract

**Introduction:** Aquaculture includes the propagation and husbandry of aquatic plants, animals, and other organisms for various purposes, including commercial, recreational, and scientific use, which has gained significant attention in recent times. However, its uncontrolled development like any other production activity, can have adverse environmental effects. Thus, the removal of water pollutants is crucial. This study aimed to investigate the impact of a mechanized water disinfection device that uses ultraviolet (UV) radiation at different doses to reduce microorganisms in the effluent of rainbow trout farms. Also, the efficiency of the device in deactivating pathogens was investigated in different flow rates and water turbidity levels.

**Materials and Methods:** The study was conducted in a rainbow trout farm with a 30-ton capacity, located in Kiyar County, approximately 30 kilometers from the center of Chaharmahal and Bakhtiari province. The UV device, at various doses (60, 120, 180, and 240 mW/cm<sup>2</sup> = joule), was applied to the farm's effluent, considering different levels of turbidity and flow rates (ranging from 2.5 to 25 liters per second). Water samples were collected both before and after the installation of the UV disinfection device. Subsequently, the average counts of total coliforms, fecal coliforms, fungi, and yeast were calculated with three replications. Probit regression was utilized within the SPSS software environment, with a statistical significance level of 0.001, to examine changes in the removal percentage of microorganisms at different UV doses. Graphs were created using Microsoft Excel 2016 software.

**Results:** The findings indicated that increased water flow rates and water turbidity reduced the efficiency of removing the targeted microorganisms. The findings indicated that increased water flow rates and water turbidity reduced the efficiency of removing the targeted microorganisms. Moreover, higher UV doses led to a higher removal percentage of total coliforms, fecal coliforms, fungi, and yeast. For instance, at a dose of 56 mJ/cm<sup>2</sup>, the total counts of total coliforms, fecal coliforms, fungi, and yeast decreased by 1.7, 3.2, 0.7, and 0.86 logs, respectively. However, complete removal of yeasts required significantly higher UV doses, depending on

water flow rates and turbidity (up to a maximum of 240 mJ/cm<sup>2</sup>). Additionally, the results of the probit regression indicated that at doses of 40.50 mJ/cm<sup>2</sup>, 20.22 mJ/cm<sup>2</sup>, 30.31 mJ/cm<sup>2</sup>, and 14.36 mJ/cm<sup>2</sup>, approximately fifty percent of the yeast population ( $P < 0.001$ ), fungi ( $Z = 13.5$ ,  $P < 0.001$ ), fecal coliform ( $Z = 22.77$ ,  $P < 0.001$ ), and total coliform ( $Z = 6.8$ ,  $P < 0.001$ ) would be removed.

**Discussion:** In summary, this research demonstrated that at a dose of 20 mJ/cm<sup>2</sup>, the gradual elimination of microorganisms begins, but at doses higher than 120 mJ/cm<sup>2</sup>, the intensity of elimination decreases. Therefore, adjusting the doses of ultraviolet radiation based on the water quality of fish farms can help maintain system health and subsequently increase productivity. The insights obtained from this study can be valuable for commercial water treatment systems and recirculating aquaculture systems. More studies are needed for the efficiency of removing viruses in water by UV rays. It is recommended to construct a sediment pond and employ various water filtration methods, including sand filters, before utilizing ultraviolet rays. This approach aims to decrease the presence of suspended particles in the water and enhance the efficiency of the disinfection system.