بررسی امکان افزایش کارایی عملکرد سیستم بدون تماس پرتوتابی فرابنفش در گندزدایی آب آشامیدنی

علیرضا مصداقی نیا[۱]، فروغ واعظی[۲]، عماد دهقانی فرد[۳]، امیرحسین محوی[۴]، کاظم ندافی[۲]، محمود علی محمدی[۴]، رضا قنبری[۵]

چکیده

مقدمه: سیستمهای بدون تماس پرتوتابی فرابنفش متداول، علیرغم سادگی و ارزان بودن، کارایی کمی در گندزدایی آب دارند. هدف این مطالعه، بررسی امکان افزایش کارایی این سیستمها توسط ایجاد اصلاحاتی در آن جهت افزایش میزان تماس آب با پرتوی فرابنفش و در نتیجه گندزدایی موثر می باشد.

روش‌ها: در این مطالعه دو مدل ارتقاء یافته با مدل متداول پرتوتابی بدون تماس فرابنفش مقایسه شد. مدل آبشاری بر اساس پرتودهی لایه های آبشاری آب در دو طرف لامپ بوده که در نتیجه از تمام پرتوی منتشره از لامپ فرابنفش استفاده می شود. در مدل پلکانی نیز لامپ در بالای پله های فلزی براق قرار گرفته اند. نتایج حاصل از گندزدایی آب در دو دبی ۰/۲ و ۰/۴ لیتر در ثانیه در این دو مدل، در شرایط مشابه با مدل متداول مقایسه شد. کارایی گندزدایی در این مطالعه، توسط حذف کلیفرمهای مدفوعی موجود در آب اندازه گیری شده که در کدورتهای NTU ۰/۵، ۱۰، ۲۰ بررسی شدند.

یافته‌ها: راندمان گندزدایی در کدورت آب NTU ۰/۵، در مدل آبشاری با ۳/۶۵ لگاریتم کاهش کلیفرمهای مدفوعی بیشتر از مدل متداول با ۲/۹۳ لگاریتم کاهش بود (P_{value}<۰/۰۵). همچنین این مدل برای گندزدایی آبهای با کدورت تا NTU ۲۰ نیز مناسب بود. با اینحال، مدل پلکانی کارایی کمتری نسبت به مدل متداول داشت.

نتیجه‌گیری: میزان راندمان گندزدایی در مدل آبشاری در مقایسه با مدل متداول در مقادیر بالاتر جریان آب و کدورت بیشتر، کاهش چندانی نیافت. بنابراین، استفاده از این مدل در مقیاسهای بزرگتر و برای تصفیه خانه های کوچک آب توصیه می شود.

واژه‌های کلیدی: پرتو فرابنفش، گندزدایی آب آشامیدنی، مدلهای بدون تماس پرتو تابی آب، مدل آبشاری، مدل پلکانی.

نوع مقاله: *تحقیقی*

دریافت مقاله: ۸۹/۹/۱ *پذیرش مقاله: ۸۹/۱۰/۱۸*

۱- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
۲- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
۳- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران (نویسنده مسؤول)
Email: dehghanifard@yahoo.com
۴- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
۵- دانشجوی دکتری، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان و گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران.

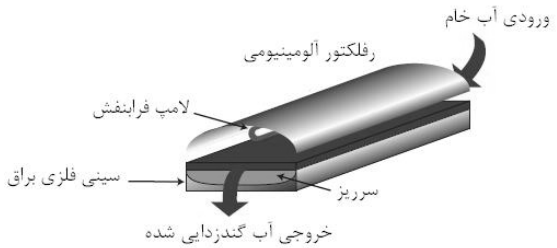
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-07]
www.mui.ac.ir

مقدمه

گندزدایی مهمترین مرحله تصفیه آب از لحاظ تأمین سلامت مصرف کنندگان است، لذا توجه کارشناسان به نحوه انجام فرآیند گندزدایی بسیار زیاد است. برای گندزدایی آب روشهای مختلف مطرح است که در این میان کلر و ترکیبات آن مرسوم ترین گندزداها می باشند. مزایای کلر متعدد است، اما ایجاد فرآورده های جانبی سرطانزا و عدم توانایی گندزدایی تعدادی از میکروارگانیسمها نظیر تخم انگلها و تک یاخته ها تحت دز متعارف مصرف کلر سبب شده تا از محبوبیت این ماده کاسته شود. از دیگر گندزداها می توان به ازن اشاره نمود. ازن مزایای زیادی از قبیل قدرت نابود سازی اکثر میکروارگانیسمها را دارد، اما به دلیل هزینه بالا و پیچیده بودن سیستم (تجهیزات مربوطه حتی در بعضی کشورهای پیشرفته به پایان عمر مفید خود نمی رسند) و همچنین مخاطرات بهداشتی ترکیبات جانبی اکسیداسیون و گندزدایی، استفاده از آن محدود شده است. از این گذشته باید گفت قدرت آن در گندزدایی تک یاخته ها کمتر از فرابنفش می باشد (۱-۴). پرتوی فرابنفش دهه های متوالی است که به عنوان عامل گندزدای آب در سراسر دنیا استفاده می شود. در آمریکای شمالی استفاده از فرابنفش برای گندزدایی فاضلاب در ربع قرن اخیر مورد توجه بوده و اخیرا استفاده از آن برای گندزدایی آب نیز رواج یافته است. تحقیقات اخیر نشان می دهد که استفاده از فرابنفش برای حذف کریپتوسپوریدیوم و ژیاردیا به عنوان یک گزینه اقتصادی مناسب و مؤثر مطرح می باشد. همچنین در صورت افزایش دز UV می توان آدنو ویروسها را نیز غیر فعال کرد (۴). با توجه به اینکه در استانداردهای میکروبی جدید آب آشامیدنی بر عدم حضور (اوو) سیستمهای کریپتوسپوریدیوم و ژیاردیا تأکید شده است و یادآور شدن این مطلب که هیچیک از گندزداهای متداول در دز متعارف مصرف حریف این موجودات نیستند، تمایل مسئولین به گندزدایی آب با فرابنفش افزایش یافته است (۵-۷).

سیستمهای گندزدایی آب با لامپهای فرابنفش به دو صورت بدون تماس و غوطه ور قابل بهره برداری می باشند (۱, ۸, ۹). طرح بدون تماس دارای امتیازات بیشتر از لحاظ بهره برداری آسانتر، عدم نیاز به ضد آب سازی لامپها، سهولت بیشتر از لحاظ نگهداری و جایگزین سازی در تأسیسات و اجتماعات می باشند. همچنین هزینه های تأسیس، بهره برداری و نگهداری برای این نمونه از طرحها بسیار کمتر از طرحهای غوطه ور می باشد (کاربرد پوششهای گران قیمت کوارتزی منتفی است). به دلیل امتیازاتی که ذکر شد، در غالب موارد روش قابل اتخاذتری برای تعدادی از کشورها به ویژه جوامع کوچکتر بوده اند. اما این طرحها در مقایسه با آرایش غوطه ور از کارایی کمتری برخوردار است و همین ایراد، محبوبیت این روش را با همه مزایایی که برای آن ذکر شد، تحت الشعاع قرار داده و از کاربرد آن کاسته است (۱, ۹-۱۱). تاکنون مطالعات مختلفی در مورد بررسی کارایی مدلهای بدون تماس پرتوتابی فرابنفش در حذف میکروارگانیسمهای مختلف موجود در آب و فاضلاب، انجام شده است (۳, ۱۲-۱۴). با این حال مطالعه ای در مورد افزایش کارایی مدلهای بدون تماس پرتوتابی فرابنفش در دنیا انجام نگرفته است.

در مدل بدون تماس متداول (شکل ۱)، صرفاً از تابش مستقیم ۵۰٪ نور لامپ بهره برداری می شود. برای این مدل چنانچه مطابق با اعلام WHO لامپ کم فشار ۴۰ واتی استفاده شود، گندزدایی آب زلال حداکثر تا ۰/۵ لیتر در ثانیه امکان پذیر می شود (۱۵). در این مطالعه با هدف بهره گیری از سطوح اضافی منعکس کننده نور (علاوه بر رفلکتورهای متداول در این طرحها) در برپایی دستگاه گندزدایی و استفاده از مسیرهای جهت دهنده برای حرکت و گردش آب مورد پرتوتابی (جهت به حداکثر رساندن بهره گیری از تمامی زوایای لامپ) تلاش شده است که نقیصه ذکر شده برای آرایشهای بدون تماس به حداقل ممکن کاهش داده شود.

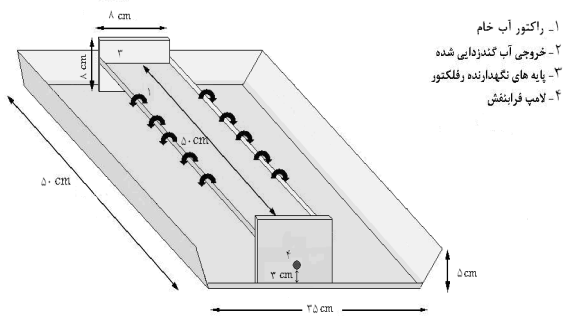


شکل ۱: مشخصات مدل متداول پرتوتابی آب با فرابنفش

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-07]
www.mui.ac.ir

روش‌ها

نوع مطالعه راه اندازی یک روش یا سیستم علمی–اجرایی می باشد. برای این مطالعه دو واحد بدون تماس متفاوت طراحی شد تا امکان مقایسه نتایج حاصل از گندزدایی آب در این واحدها با طرح متداول فراهم گردد. مدلهای جدید به عنوان مدلهای اصلاح شده مدل متداول می باشند. نموداری از سیستم بدون تماس متداول که توسط سازمان بهداشت جهانی تایید شده است در شکل ۱ قابل ملاحظه است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، در مدل متداول فقط ۵۰٪ لامپ به طور مستقیم در برابر آب قرار داشته و مابقی نور لامپ بوسیله صفحه بازتابی آلومینیومی منتقل می شود. جنس دستگاه از نوع استیل براق به ضخامت ۲ میلیمتر بوده و فاصله لامپ فرابنفش تا کف سینی آب ۴ سانتیمتر می باشد. عمق آب جریان یافته در حد یک سانتیمتر است که از طریق ایجاد یک دیواره یک سانتیمتری در انتهای خروجی راکتور برقرار می شود. برای این مطالعه، اساس طراحی واحدهای جدید گندزدایی آب بر پایه افزایش دز دریافتی پرتوی فرابنفش با بهره گیری از جریان سازی آب بصورت فیلم نازک می باشد. در طرح اصلاحی اول (مدل آبشاری) که در شکل ۲ ارائه شده است، از حرکت آبشاروار آب جهت به حداکثر رساندن استفاده از تمامی سطوح لامپ استفاده می شود و از طریق سر ریز نمودن آب از دو طرف لامپ و جریان یافتن آب از زیر لامپ عمل گندزدایی انجام می شود. جنس دستگاه از استیل براق با ضخامت ۲ میلیمتر و طول آن متناسب با طول مفید لامپ (۸۵٪ طول واقعی لامپ) می باشد. صفحه بازتابی مورد استفاده از نوع آلومینیومی به ضخامت ۲ میلیمتر است. عمق آب موجود در این واحد نیز یک سانتیمتر می باشد که از طریق تعبیه یک دیواره یک سانتیمتری در انتهای خروجی جریان آب تأمین می شود. در پایه های این راکتور دو منفذ برای استقرار لامپ در نظر گرفته شده است که تا در صورت نیاز بتوان فاصله لامپ را از سطح آب تغییر داد. آزمایشهای گندزدایی آب در این واحد البته در فاصله ۳ سانتیمتری لامپ از آب موجود در سینی زیر انجام گرفته است. در واحد اصلاحی پرتوتابی دوم (مدل پلکانی) که نمودار آن در شکل ۳ قابل ملاحظه است، از حرکت نزولی آب روی پله های دارای سطوح براق و همزمان بهره گیری از یک صفحه بازتابی آلومینیومی فوقانی استفاده می شود تا موجب به حداکثر رسیدن استفاده از تمامی سطوح لامپ در عمل گندزدایی گردد. عرض پله معادل با طول مفید لامپ که ۸۵٪ طول ظاهری است می باشد. مدل بصورت ساده شبیه پله طراحی شد، چون در واقع اگر مدل با جریان پلکانی در برابر مدل متداول بهتر عمل کند با توجه به سهولت ساخت می بایست بعنوان بهترین آرایش غیر غوطه ور معرفی شود، چرا که اصولاً ساختارهای پلکانی با هدف اولیه هوادهی آب در بسیاری از تصفیه خانه ها در دسترس می باشند و بدین ترتیب این امکان بوجود می آمد که بدون نیاز به طراحی واحدی مجزا برای گندزدایی آب، لامپهای فرابنفش را در بالای پله ها نصب کنند تا کسب دو مزیت بهبود کیفیت میکروبی و شیمیایی آب در یک جایگاه واحد میسر گردد.



شکل ۲: مشخصات مدل آبشاری برای پرتوتابی آب با فرابنفش

جهت تأمین میزان جریان مورد نیاز در هر کدام از این واحدها از پمپ مدل Lowara PM 16/A استفاده شد و تنظیم دبی توسط شیرهای بشقابی انجام گرفت. بدین ترتیب انجام گندزدایی آب در این تحقیق با استفاده از دو میزان جریان متفاوت در حدود L/s ۰/۴ و ۰/۲ صورت گرفته است. لامپ مورد استفاده در هر سه مدل از نوع کم فشار (LP) ۲۵ W ساخت شرکت Osram و با طول ۵۰ سانتیمتر می باشد. مشخصات دقیقتر لامپ در جدول ۱ آمده است. علت انتخاب لامپ ۲۵ وات طول کمتر در برابر لامپ ۴۰ وات (که با طول

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-07]
www.mui.ac.ir

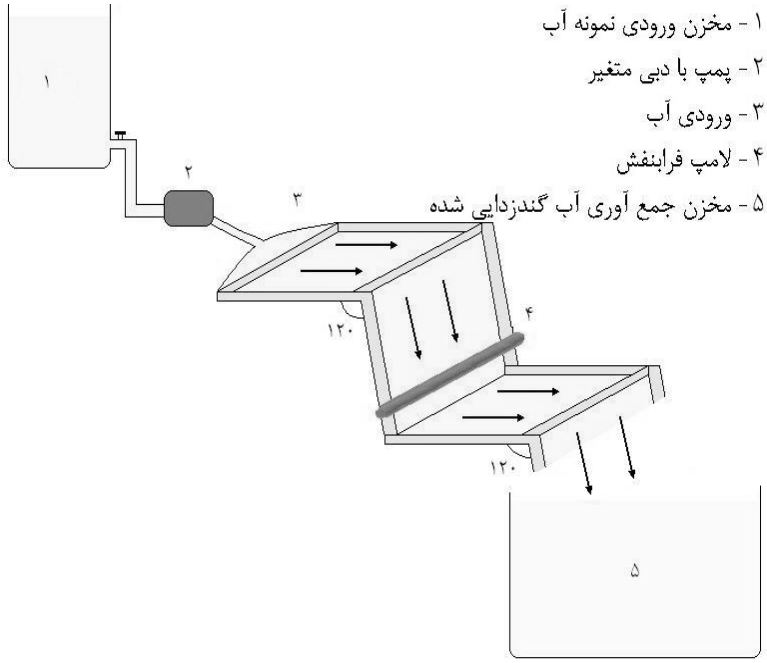
کمتر از ۹۰ سانتیمتر عرضه نمی شود) و نتیجتاً سهولت بیشتر ساخت دستگاه های گندزدایی و کمتر جاگیر بودن آنها در آزمایشگاه بوده است. لامپ قبل از انجام آزمایشها به مدت ۱۰۰ ساعت و به صورت مداوم روشن شد تا شدت پرتوی خروجی از آن یکنواخت گردد. همچنین لازم به توضیح است که در ابتدای کار، هر لامپ جهت گرم شدن و یکنواختی پرتوتابی به مدت ۵ دقیقه روشن ماند سپس نمونه های آب از طریق ورودی های مشخص شده در شکلهای ۱ الی ۳ وارد شده و در معرض پرتوتابی قرار گرفته اند.

نمونه های آب مورد آزمایش از قنات دانشگاه تهران برداشت شده است و جمعیت میکروبی لازم توسط افزودن ۱۰mL پساب حوض ته نشینی اولیه فاضلاب به ازای هر لیتر نمونه آب آماده می شد. عوامل مؤثر بر کارایی گندزدایی توسط پرتوی فرابنفش شامل آهن کل، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول (TDS)، کدورت و قابلیت عبور نور فرابنفش (UVT) نمونه آب نیز اندازه گیری و کنترل شده است. UVT آب شاخصی از قابلیت عبور نور (۲۵۴ نانومتر) از عمق معینی از آب (یک سانتیمتر) می باشد. در عمل گندزدایی آب با UV، اهمیت بیشتر این شاخص در برابر کدورت بدین علت است که تنها با سنجش آن می توان یک معیار ارزشمند از میزان تداخل مجموع مواد نامحلول و مواد محلول آب بدست آورد (۱۰). در حقیقت نیاز به UV یک نمونه آب تابعی از UVT آن می باشد.

جدول ۱: مشخصات لامپ کم فشار فرابنفش

مدل لامپ	ولتاژ ورودی (V)	توان مصرفی (W)	جریان اسمی (A)	قدرت پرتودهی UVA (254nm,W)	طول کل (mm)	طول مفید (mm)	قطر (mm)	عمر مفید (ساعت)
Osram- HNS 25W OFR	۲۳۰	۲۵	۰/۶	۶/۹	۴۳۶	۳۵۱	۲۵/۵	۸۰۰۰

* شدت تشعشع فرابنفش (طول موج ۲۵۴ nm) در فاصله یک متری از سطح لامپ نو, طبق گزارش کمپانی اوسرام در حد $0/8\ W/m^2$ می باشد.



شکل ۳: مشخصات مدل پلکانی برای گندزدایی آب با فرابنفش

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-07]
www.mui.ac.ir

آهن کل بوسیله دستگاه جذب اتمی مدل ChemTech ALPHA4، هدایت الکتریکی توسط دستگاه هدایت سنج مدل WTW LF90، کدورت توسط دستگاه کدورت سنج مدل HACH 2100AN و UVT توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Perkin Elmer Lambda25 در طول موج ۲۵۴ nm (به کمک سلهای کوارتزی یک سانتیمتری) و طبق دستورالعمل مندرج در کتاب روشهای استاندارد آب و فاضلاب، پس از هر آزمایش تعیین شده اند (۱۶). شاخص میکروبی مورد نظر در این مطالعه، کلیفرمهای مدفوعی بودند و جهت کشت میکروبی این کلیفرمها از روش صافی غشایی مطابق با روش استاندارد استفاده شد. محیط کشت مورد استفاده m-Coli Blue24 Broth ساخت شرکت HACH بوده است. صافی غشایی بکار رفته برای این بررسی از نوع میلی پور و روش کار بر اساس دستورالعمل سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA-Method 10029) می باشد (۱۷). نمونه های آب برداشت شده قبل و بعد از گندزدایی با استفاده از آب رقیق سازی (آب مقطر استریل حاوی ۹ mg\L نمک طعام) رقیق می شدند. رقتهای مورد نیاز آب خام به صورت نسبتی و برابر 10^{-5} و 10^{-6} و برای آب گندزدایی شده در حدود 10^{-1} و 10^{-2} بوده است . حجم نمونه ها پس از رقیق سازی در حد معین ۱۰۰ mL تنظیم و نمونه ها سپس از صافی های غشایی عبور داده شدند. سپس در کنار شعله، آمپول حاوی محیط کشت بر روی پد پلیت ها ریخته شده و صافی غشایی بر روی آن قرار داده شد. پلیتها در نهایت به طور معکوس در انکوباتور ۴۴ ^{o}C برای مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. کلنی های رشد نموده آبی رنگ معرف حضور باکتری اشریشیاکلی و کلنی های نارنجی معرف کلیفرمهای مدفوعی غیر از اشریشیاکلی می باشند.

کارایی حذف میکروارگانیسمها (میزان گندزدایی) بر اساس رابطه چیک–واتسون (رابطه ذیل) محاسبه شده است (۱):

$$LogN / N_0 = -KIt$$ رابطه ۱

در این فرمول N_0 تعداد کلنی های قبل از گندزدایی، N تعداد کلنی های بعد از گندزدایی و N/N_0 اصطلاحاً کسر بقای میکروبی می باشد. It معادل با دز تابش (حاصلضرب شدت تابش لامپ در زمان پرتوتابی) است. مطابق با رابطه فوق، در ازای یک دز تابش معین، درصد معینی از میکروبها قابل حذف خواهد بود. می توان گفت دزی از پرتو که قادر به ۹۰٪ مرگ و میر میکروبی (معادل با ۱۰٪ بقا) است، یک لگاریتم کاهش در میزان میکروبها ایجاد نموده است. دز پرتوی فرابنفش تابیده شده از حاصلضرب شدت پرتوی تابیده شده در زمان تماس نمونه آب با پرتو محاسبه شده که واحد آن برابر Ws/cm^2 می باشد.

تمامی آزمایشات میکروبی سه بار تکرار شده اند و محاسبات مورد نظر بر روی میانگین نتایج آنها انجام شده است.

جهت تعیین حداکثر کدورت قابل تحمل دستگاه گندزدایی (مدل برتر)، از محلول کدورت ساز (مخلوط سولفات هیدرازین و هگزامتیلن آمین) تهیه شده طبق دستورالعمل کتاب روشهای استاندارد آب و فاضلاب استفاده شد (۱۶). کدورت های تهیه شده NTU ۲۰ و ۱۰ بوده اند.

داده های بدست آمده توسط نرم افزار SPSS 13 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. ابتدا داده ها توسط آزمون Kolmogorov-Smirnov جهت بررسی نرمال بودن توزیع میانگین راندمان های گندزدایی، آنالیز شدند. برای بررسی وجود اختلاف معنادار بین پارامترهای با میانگین نرمال، از آزمون One-way ANOVA و Paired sample T-test استفاده شد.

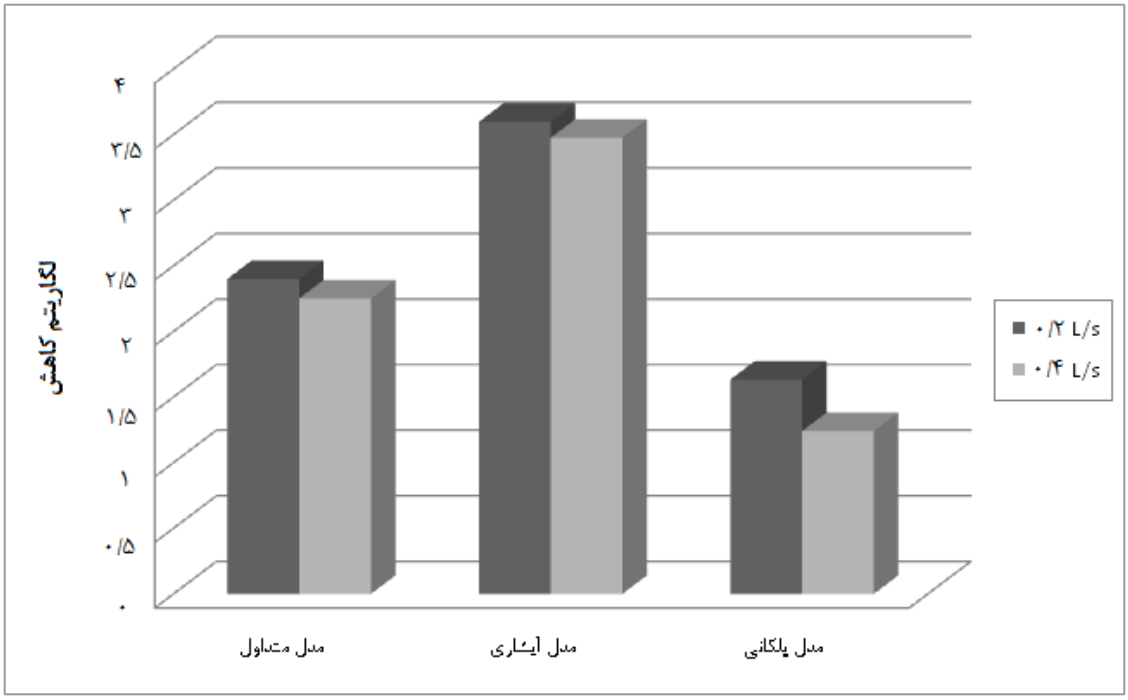
یافته‌ها

نتایج تجزیه و تحلیل میکروبی نمونه های آب گندزدایی شده توسط پرتوی فرابنفش در سه مدل مورد مقایسه طبق نمودارهای ۱ و ۲ قابل ملاحظه است. تعداد کلی کلیفرمهای مدفوعی قبل از گندزدایی در هر ۱۰۰ میلی لیتر آب خام، ۸۵۰۰۰ کلنی بوده است . پس از گندزدایی، این تعداد در مدل آبشاری به ۱۹، در مدل پلکانی به ۲۱۰۰ و در مدل متداول به ۳۵۰ کلنی در هر ۱۰۰ میلی لیتر رسید. در دبی ۰/۴ L/s، تعداد کلی کلیفرمهای مدفوعی قبل از گندزدایی در هر ۱۰۰ میلی

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-07]
www.mui.ac.ir

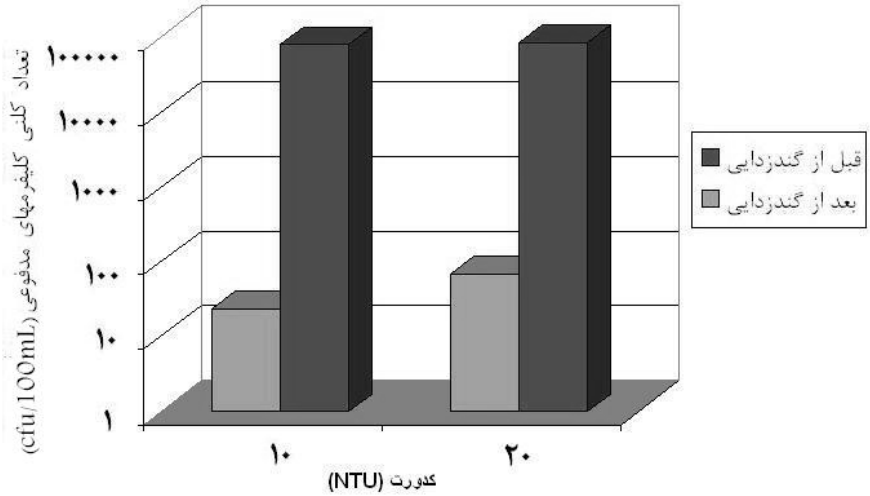
لیتر آب خام، ۹۵۰۰۰ کلنی و پس از گندزدایی، تعداد مزبور در مدل اول به ۲۵، در مدل دوم به ۹۳۰۰ و در مدل سنتی به ۵۲۰۰ کلنی در هر ۵۱۰ میلی لیتر رسید (نمودار ۱). نتایج آزمون Paired sample T-test نشان داد که کلیفرمهای مدفوعی ورودی به سه مدل گندزدایی، دارای اختلاف معنادار با کلیفرمهای مدفوعی باقیمانده پس از گندزدایی داشته (P_{value}<۰/۰۵) که کارایی هر سه مدل در کاهش موثر کلیفرمهای مدفوعی را نشان می دهد. با این حال، آزمون One-way ANOVA مشخص نمود که میانگین راندمان گندزدایی مدل آبشاری در مقایسه با دو مدل متداول و پلکانی، دارای اختلاف معنادار بود (P_{value}<۰/۰۵). در نتیجه مشخص شد که مدل آبشاری دارای بیشترین کارایی در گندزدایی آب با پرتوی فرابنفش نسبت به دو مدل دیگر می باشد.

برای تعیین حداکثر کدورت قابل تحمل بوسیله مدل با جریان آبشاری (مدل برتر)، کدورت های NTU ۲۰ و ۱۰ انتخاب شدند. نتایج این مرحله از تحقیق در نمودار ۲ قابل ملاحظه است. با توجه به این نمودار، تعداد کلی کلیفرم های مدفوعی قبل از گندزدایی در هر ۱۰۰ میلی لیتر آب خام، ۸۳۰۰۰ کلنی بود که پس از تنظیم کدورتهای مورد نظر و گندزدایی نمونه آب، تعداد این کلنی ها در کدورت NTU ۱۰ در واحد اول به ۲۳ و در کدورت NTU ۲۰ به ۶۸ رسیده است. اگرچه نتایج آزمون آماری Paired t-test نشاندهنده موثر بودن کارایی مدل آبشاری در حذف کلیفرمهای مدفوعی از آب را داشت(P_{value}<۰/۰۵)، با این حال آزمون One-way ANOVA مشخص نمود که بین راندمان حذف در کدورتهای مختلف NTU ۲۰ و ۱۰، اختلاف معناداری وجود دارد (P value<۰/۰۵).



نمودار ۱: کاهش لگاریتمی کلیفرمهای مدفوعی در واحدهای مختلف گندزدایی فرابنفش در دو دبی L/s ۰/۴ و ۰/۲

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-07]
www.mui.ac.ir



نمودار ۲: کاهش کلیفرمهای مدفوعی در مدل بدون تماس با جریان آبشاری در دبی L/s ۰/۲

جدول ۲: میزان آهن کل، هدایت الکتریکی، کدورت و UVT نمونه های آب قنات دانشگاه تهران

نوبت نمونه برداری	پارامتر آهن کل (mg/L)	هدایت الکتریکی (µs/cm)	کدورت (NTU)	UVT (٪)
۱	۰/۴۳	۹۳۵	۰/۴	۹۷/۰۳
۲	۰/۵۷	۱۰۶۷	۰/۳	۹۹
۳	۰/۴۹	۹۹۳	۰/۴	۹۹

نتایج بدست آمده از سنجش میزان آهن کل، هدایت الکتریکی، کدورت و UVT نمونه های آب قنات دانشگاه تهران در جدول ۲ قابل ملاحظه می باشد. هر سه نمونه آب در تابستان ۱۳۸۶ برداشت شده است و دمای آب در زمان گندزدایی حدوداً برابر با لحظه نمونه برداری (معادل C ۲۳°) بوده است. در صورتی که مقدار آهن کل نمونه آب کمتر از mg/L ۱ باشد، اثر چندانی بر کارایی گندزدایی توسط UV ندارد و طی این تحقیق نیز مقدار آهن کل کمتر از mg/L ۱ می باشد (جدول۲). UVT آب نیز حدود ۱۰۰٪ می باشد که بنابراین بر کارایی گندزدایی تأثیر ندارد. هر چقدر کدورت آب بیشتر باشد، به علت کاهش عبور پرتوی فرابنفش از آب، راندمان گندزدایی کاهش می یابد که این مسئله در کدورتهای NTU ۲۰ و ۱۰ مشاهده شد.

بحث

در گندزدایی آب آشامیدنی به کمک پرتو فرابنفش، استفاده از مدل بدون تماس در بردارنده مزایای متعددی در برابر مدلهای غوطه ور می باشد. تنها ایراد ذکر شده برای سیستم بدون تماس پرتوتابی، کارایی گندزدایی کمتر است، اما همین ایراد واحد موجب شده است که از این مدل با وجود مزایای عدیده ای که دارد جز برای جوامع کوچک استفاده نشود. انتظار این است که اگر بتوان با حفظ مزایای مهم آرایش بدون تماس (هزینه کمتر بهره برداری و عدم نیاز به غلافهای گران قیمت کوارتزی) نقطه ضعف ذکر شده را برطرف کرد یا کاهش داد، اقدام مهمی در افزایش مقبولیت این روش در برابر آرایش غوطه ور صورت گیرد و استقبال جوامع مختلف در اتخاذ روش پرتوتابی آب با فرابنفش که بعنوان سبزترین گزینه گندزدایی

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-07]
www.mui.ac.ir

آب آشامیدنی ذکر شده است، افزون گردد.

نتایج این تحقیق نشان داد که راکتور آبشاری در مقایسه با راکتور متداول، دارای راندمان گندزدایی بالاتری می باشد. این امر به علت ایجاد جریان آبشاری آب و در نتیجه افزایش پرتوگیری آب در راکتور، کاهش فاصله لامپ فرابنفش با آب و عبور پرتوی فرابنفش از لایه بسیار نازک آب بوده که سبب افزایش دز دریافتی پرتوی فرابنفش توسط آب می شود. کارایی گندزدایی راکتور آبشاری منطبق با خط مشی های USEPA و AWWA می باشد (۱۸, ۱۹). راندمان گندزدایی توسط پرتوی فرابنفش در راکتور آبشاری در کدورت NTU ۱۰ کاهش زیادی نیافت، اما راندمان گندزدایی در این راکتور در کدورت NTU ۲۰ حدود log ۰/۵ کاهش یافت که می توان دریافت کدورت قابل تحمل توسط این راکتور NTU ۱۰ می باشد و در کدورت های بالاتر باید دبی جریان آب کاهش یابد تا راندمان گندزدایی ثابت بماند. در راکتور پلکانی، اگرچه فاصله لامپ با سطح آب کاهش یافته و سطح بیشتری از لامپ در تماس مستقیم با لایه آب قرار گرفته است، راندمان گندزدایی بسیار کمتر از نتایج راکتور متداول می باشد که به علت عرضی قرار گرفتن لامپ در راکتور و کاهش زمان پرتوگیری آب در این راکتور می باشد. با این حال به دلیل طراحی پلکانی این مدل و امکان استفاده چندمنظوره از آن (گندزدایی توام با هوادهی) در صورت استفاده از لامپهای بیشتر و یا تغییر آرایش آنها، می توان نسبت به افزایش کارایی این مدل نیز اقدام نمود.

Cantwell و Hofmann در سال ۲۰۰۸، در مورد تاثیر پرتوی فرابنفش در غیر فعالسازی گونه های بومی باکتری های کلیفرم در آبهای فیلتر شده و فیلتر نشده مطالعات خود را انجام دادند و مشخص نمودند که در آبهای فیلتر شده با کدورت NTU ۰/۸۳، راندمان حذف کلیفرمها برابر Log ۳/۴ بوده و در آبهای فیلتر نشده با کدورت NTU ۵/۴، به Log ۲/۵ کاهش یافت (۱۳). یکی از دلایل پایین بودن کارایی گندزدایی در آن مطالعه، کدورت آب و پایین بودن UVT (۶۰٪) بود. با این حال در مطالعه حاضر، به دلیل اصلاح مدل جریان آب و محل قرارگیری لامپ فرابنفش در مدل آبشاری، کدورت قابل تحمل NTU ۱۰ و راندمان حذف Log ۳/۵ بدست آمد.

از مزایای گندزدایی آب و فاضلاب توسط لامپهای فرابنفش ، زمان ماند بسیار کم آب، کارایی بالا در حذف کیست تک یاخته ها و ویروسها، عدم تولید محصولات جنبی گندزدایی، پایین بودن هزینه های جاری آن و غیره می باشد که در انتخاب نوع روش گندزدایی آب و فاضلاب، بسیار مهم است. اگرچه هزینه های اولیه روش گندزدایی با لامپ فرابنفش نسبتاً بالا می باشد اما با پایین آمدن هزینه های جاری این روش، هزینه های اولیه آن جبران می شود. در این بین سیستمهای کم فشار و بدون تماس دارای هزینه های اولیه و جاری بسیار پایین تری هستند که به علت ارزان بودن این لامپها و نیز هزینه نگهداری کم (عدم تشکیل رسوب بر روی سطح لامپ به علت بدون تماس بودن سیستم) می باشد. با توجه به نتایج این مطالعه که در آن راکتور آبشاری در دبی های بالاتر دارای کارایی مناسب بود، استفاده از این سیستم در تصفیه خانه ها به جای سیستم های متداول بدون تماس توصیه می شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی تهران که حمایت مالی این طرح (شماره ۵۱۴۳) را بر عهده داشت، تشکر نمایند..

References

1. Baruth EE, American society of civil engineers, American water works association. water treatment plant design. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2005. p. 104-5.
2. Mackey ED, Cushing RS, Crozes GF, AWWA research foundation. practical aspects of UV disinfection. New York: American Water Works Association; 2001. p. 273-9.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-07]
www.mui.ac.ir

3. Hijnen WA, Beerendonk EF, Medema GJ. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: a review. Water Res 2006; 40(1): 3-22.
4. Guy LP, Franklyn S. Field report - implementation of primary UV disinfection at the mannheim water treatment plant: procurement, installation, and validation challenges. American Water Works Association (AWWA) 2003; 95(10): 57-61.
5. Cairns W, Wright H. Is UV Disinfection the best available technology? London: IWA Yearbook; 2000. p. 26-8.
6. Lingireddy S, American Society of Civil Engineers. Water Supply Engineering Technical Committee. Control of microorganisms in drinking water. New York: ASCE Publications; 2002. p. 58-60.
7. McGuire MJ. Eight revolutions in the history of US drinking water disinfection. J AWWA 2006; 98(3): 123-49.
8. Stedman L. A unanimous vote of confidence? Water 2004; (6): 1-31.
9. Tchobanoglous G, Burton FL, Eddy M, Stensel HD. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2004.
10. Masschelein W, Rice RG. Ultraviolet light in water and wastewater sanitation. 1st ed. Chicago: Lewis Publishers; 2002. p. 86-90.
11. Oppenländer TH. Photochemical purification of water and air. Berlin: Wiley-VCH; 2003. p. 243-50.
12. (12) Bohrerova Z, Linden KG. Ultraviolet and chlorine disinfection of mycobacterium in wastewater: effect of aggregation. Water Environ Res 2006; 78(6): 565-71.
13. Cantwell RE, Hofmann R. Inactivation of indigenous coliform bacteria in unfiltered surface water by ultraviolet light. Water Res 2008; 42(10-11): 2729-35.
14. Templeton MR, Hofmann R, Andrews RC. UV inactivation of humic-coated bacteriophages MS2 and T4 in water. Journal of Environmental Engineering and Science 2006; 5: 537-43.
15. Craun GF, Hearne N, World Health Organization, Organization, Pan American Health Organization. Providing safe drinking water in small systems: technology, operations, and economics. chicago: Lewis Publishers; 1999. p. 198-202.
16. Eaton AD, Franson MAH, American Water Works Association, Water Environment Federation. Standard methods for the examination of water & wastewater. 21th ed. Washington: American Public Health Association; 2005.
17. Telliard WA, Brass H. Hach methods approved/accepted. Washington: United States Environmental Protection Agency; 1999.
18. Long term 2 enhanced surface water treatment rule.[Online] 2006. Available from: http://water.epa.gov/lawsregs/rulesregs/sdwa/lt2/regulations.cfm
19. Vaezi F, Seid Mohammadi A. Water disinfection rules and disinfection operation. Tehran: Ostad Publisher; 2003.[in Persian]

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-07]

www.mui.ac.ir

Investigating the feasibility of water disinfection efficiency improvement in non-contact UV radiation

Ali-Reza Mesdaghinia[1], Forough Vaezi[2], Emad Dehghanifard[3], Amir Hossein Mahvi[4], Kazem Naddafi[2], Mahmood Alimohammadi[4], Reza Ghanbari[5]

Abstract

Background: Despite their simplicity and the low-cost, the conventional non-contact UV systems have low efficiency in water disinfection. The purpose of this study was to examine the possibility of upgrading these systems by some modifications in order to maximize the water contact with the UV radiation and as a result a better disinfection.

Methods: In this study, two enhanced models of non-contact UV systems were compared to the conventional model. The waterfall model was made with a design based on flowing water from two thin waterfalls around a UV lamp in order to have direct radiation from the lamp's all exposure areas. Also, the stair type model was designed in which a lamp was fixed over the shiny steel steps. The results of water disinfection in two flow rates of 0.2 and 0.4 L/s were compared with traditional design at the exact similar conditions. The disinfection efficiency of this study was measured by reduction of fecal choliforms in water which were evaluated in turbidities of 0.5, 10 and 20 NTU.

Findings: The disinfection efficiency of the waterfall model in the turbidity of 0.5 NTU was specified to be 3.65 log in reduction of fecal choliforms compared to the conventional model by 2.93 log reduction ($P<0.05$). Besides, this new model was quite capable of disinfecting the water with high turbidities up to 20 NTU. However, the stair type model had less efficiency than the conventional model.

Conclusion: The reduction in disinfection efficiency at higher flow rates and turbidities for the waterfall model was much less than conventional model. So, application of the waterfall model in larger scales and for small water treatment facilities is suggested.

Key words: Ultraviolet Radiation, Water Disinfection, Non-contact UV System, Waterfall Model, Stair Type Model.

1- Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
3- Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran (Corresponding Author) Email: mkhiadani@yahoo.com
4- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
5- PhD Student, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences and Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-06-07]

www.mui.ac.ir