

بررسی امکان گندزدایی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان توسط سیستم‌های گندزدای کم فشار و فشار متوسط فرابنفش در مقیاس پایلوت

حسن هاشمی^۱، محمد مهدی امین^۲، بیژن بینا^۳، حسین موحدیان عطار^۴، حسین فرخ زاده^۵

نویسنده مسئول: اصفهان، خیابان هزار جریب، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط hlt.h.mui.amin@ac.ir

دریافت: ۸۸/۰۸/۲۹ پذیرش: ۸۸/۱۰/۰۷

چکیده

زمینه و هدف: امروزه به دلیل مشکلات بهداشتی، زیست محیطی و اقتصادی کاربرد کلر، انتخاب اشعه UV جهت گندزدایی پساب یک گزینه برتر است. هدف از انجام این مطالعه بررسی امکان گندزدایی مستقیم پساب تصفیه ثانویه با اشعه UV می باشد.

روش بررسی: از دو سیستم گندزدایی فرابنفش کم فشار (LP) و فشار متوسط (MP) غوطه ور به طور مستقیم جهت گندزدایی پساب ثانویه تصفیه خانه فاضلاب شمال اصفهان استفاده شد. با بهره برداری از لامپ‌ها به صورت منفرد و تلفیقی، پارامترهای کلیفرم کل و مدفوعی (TC و FC)، و استریپتوکوک مدفوعی (FS) مورد آزمایش قرار گرفت. هم چنین پارامترهای TSS، آهن، سختی، جذب و عبور اشعه UV جهت مطالعه رسوب گذاری سطح کوارتز لامپ‌ها آنالیز گردید.

یافته‌ها: در گندزدایی پساب ثانویه توسط لامپ MP، LP و تلفیق هر دو، به ترتیب، تعداد TC و FC، در دزهای اشعه ۱۶۱، ۳۵۰ و 460 mws/cm^2 ، حد استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ($400 \text{ FC} / 100 \text{ mL}$ و 1000 TC) و تعداد FS در دزهای 250 mws/cm^2 ، 180 و 237 mws/cm^2 به کم تر از ۴۰۰ عدد در ۱۰۰ میلی لیتر کاهش یافت. حداکثر رشد مجدد کلیفرم های کل و مدفوعی در پساب گندزدایی شده با لامپ LP به ترتیب ۱۵ و ۳ درصد مشاهده شد.

نتیجه گیری: نتایج حاصل نشان داد که گندزدایی مستقیم پساب ثانویه با سیستم های LP، MP و حتی تلفیق آنها به دلیل غلظت بالای جامدات معلق مقدور نیست. بنابراین گندزدایی پساب تصفیه خانه فاضلاب شمال اصفهان با اشعه UV مستلزم بهبود کیفیت پساب از طریق ارتقای بهره برداری سیستم یا به کارگیری واحد تصفیه پیشرفته قبل از سیستم گندزدایی است.

واژگان کلیدی: سیستم کم فشار و فشار متوسط اشعه فرابنفش، گندزدایی پساب، تصفیه خانه فاضلاب شمال اصفهان

- ۱- کارشناس ارشد بهداشت محیط، عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد
- ۲- دکترای بهداشت محیط، استادیار دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
- ۳- دکترای بهداشت محیط، استاد دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
- ۴- دکترای بهداشت محیط، دانشیار دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
- ۵- کارشناس ارشد بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

مقدمه

به دلیل رشد بی رویه جمعیت و کاهش منابع آب، بازیابی و استفاده از فاضلاب شهری در سال های اخیر به خصوص در کشورهای خشک و نیمه خشک در حال افزایش است. باید توجه داشت که به دلیل مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی، استفاده مجدد از آب باید ایمن و مطمئن انجام شود. اگرچه تصفیه متداول فاضلاب شهری باعث حذف ۹۹-۹۵ درصد برخی میکروارگانیسم ها می شود ولی این سطح تصفیه برای استفاده مجدد پساب، عمدتاً به دلیل وجود میکروارگانیسم های بیماری زا کافی نیست (۱). هدف اصلی گندزدایی پساب خروجی از تصفیه خانه های فاضلاب شهری کاهش غلظت پاتوژن های منتقله از راه آب به کم تر از مقدار عفونت زا می باشد. برای دستیابی به این هدف، ماده گندزدا باید طیف وسیعی از باکتری ها، ویروس ها و تک یاخته ها را در پساب غیر فعال کند. گندزدایی با روش های فیزیکی و شیمیایی انجام می شود. کلر به عنوان گزینه برتر جهت گندزدایی پساب های خروجی استفاده می شده و هنوز هم در بیش تر نقاط دنیا استفاده می شود اما نگرانی هایی در خصوص ایمنی و سلامت کارگران و عموم و پتانسیل سمیت پساب کلرزنی شده برای محیط آبی و تشکیل محصولات جانبی گندزدایی وجود دارد که باعث شده تا استفاده از کلر در گندزدایی پساب ابهام برانگیز باشد. با توجه به افزایش آگاهی ها در خصوص معایب گندزداهای شیمیایی، انتخاب اشعه UV یک گزینه برتر می باشد. در سال ۱۹۸۸ حدود ۳۰۰ تصفیه خانه و تا سال ۲۰۰۴ حدود ۴۳۰۰ تصفیه خانه فاضلاب در ایالات متحده یعنی بیش از ۲۰ درصد تصفیه خانه ها که عمدتاً تازه تاسیس شده بودند، از سیستم UV برای گندزدایی پساب استفاده می کردند. تعداد تصفیه خانه های دارای سیستم UV در امریکا، اروپا و شرق آسیا به طور معنی داری افزایش یافته و انتظار می رود که در دهه های آینده گسترش بیش تری داشته باشد. اگرچه استفاده از اشعه UV برای گندزدایی پساب مزایای بالقوه زیادی دارد، از جمله این که با دز مناسب، گندزدای موثری برای

باکتری ها، پروتوزوا و ویروس ها در پساب بازیابی شده است و محصولات جانبی مهمی هم تولید نمیکنند. اما دارای معایبی هم در ارتباط با هزینه، رسوب گذاری لامپ ها و فعالیت مجدد نوری میکروارگانیسم های هدف می باشد. بنابراین متخصصان تصفیه فاضلاب باید در خصوص جایگزینی فرایندهای جدید به طور آگاهانه عمل نموده و قبل از تغییر در فرایندهای تصفیه باید ارزیابی هایی در مقیاس پایلوت به عمل آورند (۲). موانعی در به کارگیری لامپ UV وجود دارد. از جمله وجود کدورت، مواد معلق، رنگ، مواد کلوییدی و مواد آلی محلول به عنوان پناه گاه باکتری ها، تفرق و جذب اشعه، باعث کاهش شدت اشعه UV در اثر ایجاد جرم و رسوب بر روی دیواره لامپ و کاهش عمر لامپ می شوند. ذرات موجود در پساب، تاثیر منفی زیادی بر عملکرد گندزدایی با UV دارد (۳). مطالعات قبلی نشان داده که ذرات معلق در فاضلاب از طریق حفاظت میکروارگانیسم ها باعث افزایش شانسی بقای میکرب ها در طی گندزدایی با اشعه UV می شود. مطالعات زیادی در دنیا بر روی تصفیه و گندزدایی پساب جهت استفاده مجدد انجام شده است. طبق نتایج حاصل از مطالعات پایلوت لیبرتی و همکاران در سال ۲۰۰۲ در ایتالیا بر روی حذف پارازیت ها و تشکیل مواد جانبی در طی گندزدایی با اشعه UV، جهت رسیدن به استاندارد کلیفرم کل در پساب حاصل از ته نشینی ثانویه و پساب فیلتر شده ($2/100FC$) مشخص شد که به ترتیب 160 mWs/cm^2 و ۱۰۰ از اشعه UV لازم است (۴). محدودیت های کلی در خصوص دز اشعه وجود ندارد ولی اغلب محدوده دز 400 mJ/cm^2 تا ۱۰۰ متداول است (۵). در این مطالعه تاثیر لامپ های کم فشار و فشار متوسط UV جهت گندزدایی پساب تصفیه خانه فاضلاب شمال اصفهان در مقیاس پایلوت مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش ها

برای بررسی تاثیر پارامترهای کیفی پساب بر عملکرد UV، دو نوع سیستم گندزدایی کم فشار و فشار متوسط UV در محل

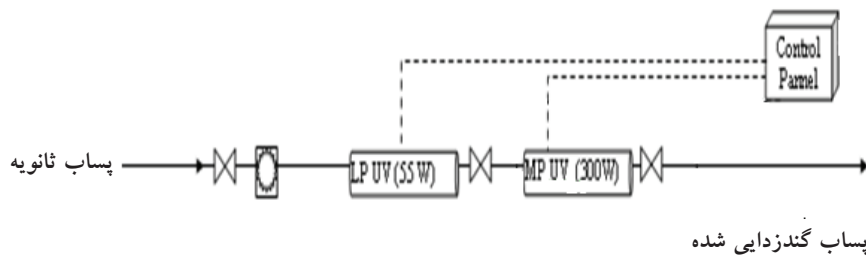
دبی های ۲ تا ۲۶ لیتر در دقیقه از پساب ثانویه خروجی از تصفیه خانه فاضلاب مستقیماً توسط لامپ های کم فشار و فشار متوسط UV مورد پرتو دهی قرار گرفت. دز پرتو دهی با تنظیم دبی ورودی به راکتور گندزدایی تنظیم می شد. زمان ماند هیدرولیکی به عنوان زمان پرتو دهی در نظر گرفته می شد. بنابراین دز پرتو دهی از حاصل ضرب شدت متوسط اشعه در زمان پرتو دهی بر حسب $mW.s/cm^2$ محاسبه گردید.

$$D = I_{avg} t \quad (1)$$

شدت متوسط اشعه تابع شدت اولیه اشعه تابشی از لامپ، عمق نمونه مورد پرتو دهی و میزان جذب اشعه توسط مایع

تصفیه خانه فاضلاب شمال اصفهان نصب شد. این تصفیه خانه با متوسط دبی ورودی (s/m^2) به عنوان بزرگ ترین تصفیه خانه فاضلاب ایران به شمار می رود. فرایند تصفیه فاضلاب در این تصفیه خانه روش لجن فعال بوده و در گذشته از کلر برای گندزدایی پساب خروجی استفاده می شده است که با توجه به اثرات نامناسب بهداشتی و زیست محیطی، در حال حاضر فرایند گندزدایی انجام نمی شود. سیستم های UV به صورت مدول لول های و از نوع کم فشار ($55 W$ ، منوکروماتیک) و فشار متوسط ($300 W$ ، پلی کروماتیک) بود. شماتیک پایلوت مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. هم چنین، مشخصات فنی هر دو نوع سیستم طبق داده های شرکت سازنده در جداول ۱ و ۲ آمده است.

شکل ۱: طرح شماتیک پایلوت UV مورد استفاده در این مطالعه



جدول ۱: مشخصات فنی سیستم فشار متوسط مورد استفاده

مدل	شرکت سازنده	کل طول لامپ mm	طول موثر لامپ mm	قطر لامپ mm	طول پوشش cm	عمر مفید لامپ hr	جنس راکتور
UVOX300	آردا فرانسه	۱۰۱	۵۶	۱۰	۱۸	۱۰۰۰۰	استیل با درپوش تفلون

جدول ۲: مشخصات فنی سیستم کم فشار مورد استفاده

مدل	شرکت سازنده	ابعاد mm	ولتاژ v	دمای قابل تحمل °C	طول عمر مفید لامپ hr	حداکثر جذب اشعه توسط پوشش کوارتز (%)
UV2M55W	فیلیپس هلند	۹۲۰×۷۶	۲۲۰-۲۴۰	۴۰-۵	۵۰۰۰	۱۷

بوده، و طبق معادله ۲ محاسبه شد (۷).

$$I_{avg} (mw/cm^2) = I_0 \left(\frac{1-10^{-ad}}{ad} \right) \quad (2)$$

به روش MPN در رقت های مختلف بسته به نوع پساب، نوع میکروارگانیسم و دز دریافتی از ۱۰ تا ۱۰^{-۷} انجام می شد (۷). از معادله درجه اول چیک - واتسون (معادله ۳) برای محاسبه لگاریتم غیر فعال سازی باکتری های پراکنده استفاده شد.

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{-kD} \quad (3)$$

به منظور ارزیابی نابودی کامل باکتری های هدف پس از پرتودهی و قابلیت رشد مجدد آنها در حضور نور، حجم باقی مانده از نمونه پس از کشت اولیه به مدت ۳ ساعت در معرض نور خورشید با شدت ۶۰۰۰ لوکس قرار داده شد و پس از کشت، مجدداً تعداد باکتری ها محاسبه شد. از معادله (۴) برای محاسبه درصد فعالیت مجدد باکتری ها استفاده شد (۸).

$$P (\%) = \frac{(N_p - N_t)}{(N_0 - N_t)} \cdot 100 \quad (4)$$

داده های حاصل از آزمایش ها با استفاده از نرم افزارهای Excel و SPSS (آزمون های Paired t. Test و independent-t test) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته ها

در این بخش، یافته های حاصل از تحقیق از نظر غیر فعال سازی و رشد مجدد باکتری های هدف و پتانسیل تشکیل رسوب بر سطح کوارتز لامپ های UV با توجه به کیفیت پساب ثانویه، در قالب جداول و شکل ها آمده است. جدول ۳ مقادیر متوسط پارامترهای کیفی پساب ثانویه ورودی به پایلوت در زمان های مختلف نمونه برداری را نشان می دهد. همان طور که در جدول ۳ مشخص است، بر اساس قوانین و مقررات سازمان حفاظت محیط زیست، کیفیت پساب در حد استانداردهای لازم جهت تخلیه به محیط نیست. رابطه درصد

در این مطالعه شدت اولیه اشعه با قرار دادن پروب C رادیومتر در سطح کاملاً تمیز کوارتز پس از حدود ۵ دقیقه اندازه گیری می شد. مقادیر اندازه گیری شده در اوایل دوره بهره برداری سیستم متغیر و کم بود که با گذشت زمان به حد ثابت ۸ و ۲ mW/cm² به ترتیب در لامپ کم فشار و فشار متوسط رسید هر چند که به دلیل خاموش و روشن کردن لامپ کم فشار در هر بار نمونه برداری جهت بهره برداری آن به طور سری با لامپ فشار متوسط شدت خروجی آن به حدود ۷ mW/cm² کاهش یافت. فاصله بین سطح خارجی کوارتز تا سطح داخلی محفظه استیل راکتور (۲ cm در راکتور کم فشار و ۵ cm در راکتور فشار متوسط) به عنوان عمق پرتودهی (d) در نظر گرفته می شد. میزان جذب اشعه توسط پساب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (DR-۵۰۰۰)، در طول موج ۲۵۴ nm بر حسب au/cm خوانش می شد. تحت شرایط مختلف (کیفیت پساب و دز UV) نمونه های میکربی (کلیفرم کل، مدفوعی و استریپتوکوک مدفوعی) و پارامترهای شیمیایی (TSS، عبور UV، pH، آهن و سختی) طی ۵ ماه (دی ماه ۸۷ تا اردیبهشت ماه ۸۸) با برداشت لحظه ای تعداد ۱۷ نمونه (با توجه به رابطه $d^2 / (Z_p + Z_s)^2 (S_p + S_s) = n$) از پساب ورودی به پایلوت و قبل و بعد از راکتورهای UV به طور هفتگی، در داخل بطری ۲۵۰ mL تهیه و مورد آزمایش قرار می گرفتند. تمام آزمایش ها مطابق کتاب روش های استاندارد برای آزمایش های آب و فاضلاب (استاندارد متد ۲۰۰۵-) انجام شده است. آزمایش های pH، TSS، آهن و سختی به ترتیب با روش های گراویمتری، الکترودی، فنانترویلین و تیتراسیون انجام می شد. آزمایش های میکربی

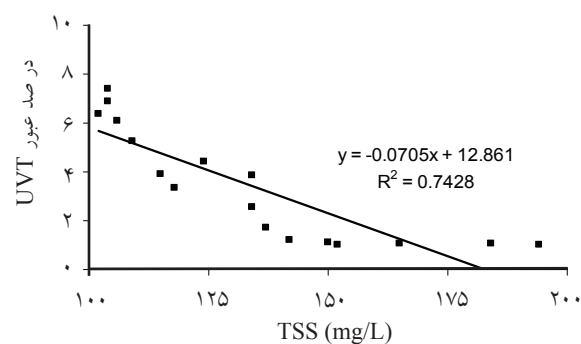
جدول ۳: مقادیر متوسط پارامترهای کیفی پساب ثانویه ورودی به پایلوت

درصد عبور (%)	جذب (a.u/cm)	pH	TSS (mg/L)	TC MPN/100mL	FC MPN/100mL	FS MPN/100mL
۱	۱/۹۹۱	۷/۱	۱۹۴	$۵/۳ \times ۱۰^۶$	$۲/۱ \times ۱۰^۶$	۲×۱۰^۵
۱/۱	۱/۹۵۸	۶/۹	۱۵۰	$۱/۷ \times ۱۰^۷$	$۵/۳ \times ۱۰^۶$	$۳/۸ \times ۱۰^۵$
۴/۴	۱/۳۵۵	۷/۲	۱۲۴	$۱/۶ \times ۱۰^۶$	$۶/۷ \times ۱۰^۵$	$۱/۱ \times ۱۰^۴$
۱/۲	۱/۹۱۵	۶/۸	۱۴۲	$۱/۳ \times ۱۰^۷$	$۷/۲ \times ۱۰^۶$	۴×۱۰^۵
۱/۱	۱/۹۶۶	۶/۵	۱۸۴	$۶/۸ \times ۱۰^۵$	۶×۱۰^۴	$۳/۳ \times ۱۰^۴$
۳/۳	۱/۴۷۶	۷/۴	۱۱۸	$۴/۲ \times ۱۰^۵$	$۶/۳ \times ۱۰^۴$	$۵/۶ \times ۱۰^۵$
۳/۹	۱/۴۱۳	۷/۱	۱۳۴	$۶/۹ \times ۱۰^۷$	$۸/۶ \times ۱۰^۶$	$۸/۹ \times ۱۰^۵$
۱/۷	۱/۷۶۰	۶/۹	۱۳۷	$۸/۹ \times ۱۰^۷$	$۵/۵ \times ۱۰^۶$	$۱/۳ \times ۱۰^۴$
۲/۶	۱/۵۹۰	۷/۴	۱۳۴	$۹/۶ \times ۱۰^۶$	$۳/۳ \times ۱۰^۵$	$۴/۵ \times ۱۰^۴$
۶/۹	۱/۱۶۱	۶/۴	۱۰۴	$۱/۶ \times ۱۰^۶$	$۵/۵ \times ۱۰^۵$	$۲/۲ \times ۱۰^۴$
۱/۱	۱/۹۶۹	۶/۵	۱۶۵	$۲/۱ \times ۱۰^۵$	$۱/۸ \times ۱۰^۵$	$۱/۷ \times ۱۰^۴$
۷/۴	۱/۱۳۱	۷/۲	۱۰۴	$۵/۶ \times ۱۰^۵$	$۱/۷ \times ۱۰^۵$	۶×۱۰^۴
۱	۱/۹۹۱	۷/۵	۱۵۲	$۷/۲ \times ۱۰^۶$	$۳/۵ \times ۱۰^۵$	۴×۱۰^۴
۵/۲	۱/۲۸۱	۷/۱	۱۰۹	$۲/۳ \times ۱۰^۶$	$۷/۴ \times ۱۰^۵$	$۳/۸ \times ۱۰^۴$
۳/۹	۱/۴۰۷	۶/۹	۱۱۵	$۴/۲ \times ۱۰^۵$	$۵/۲ \times ۱۰^۴$	$۵/۷ \times ۱۰^۴$
۶/۱	۱/۲۱۵	۷/۲	۱۰۶	$۲/۱ \times ۱۰^۶$	$۶/۱ \times ۱۰^۵$	۴×۱۰^۴
۶/۴	۱/۱۹۷	۷/۲	۱۰۲	$۱/۴ \times ۱۰^۶$	$۲/۷ \times ۱۰^۵$	۴×۱۰^۴

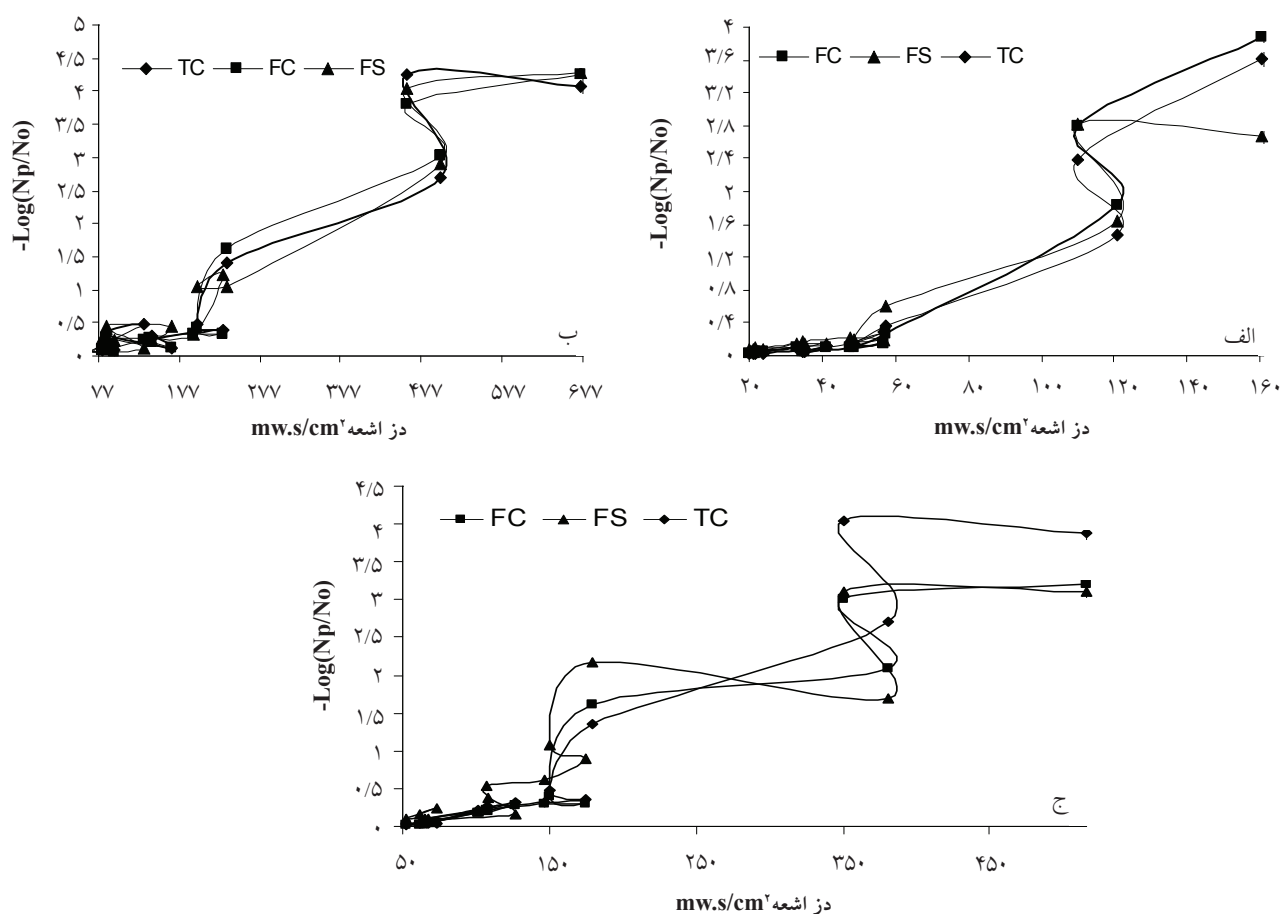
غیرفعال سازی و رشد مجدد باکتری های هدف در گندزدایی پساب ثانویه

در شکل ۴ لگاریتم غیر فعال سازی باکتری های هدف پس از پرتودهی با لامپ های UV و سپس مواجهه با نور مرئی در مقابل دز های مختلف اشعه تابشی رسم شده است. N_p تعداد باکتری های رشد مجدد یافته در حضور نور مرئی پس از گندزدایی و N_0 تعداد اولیه باکتری ها قبل از گندزدایی است. فعالیت مجدد باکتری های پرتودهی شده با اشعه UV پس از ۳ ساعت مواجهه با نور خورشید (نور مرئی) با شدت ۶۰۰۰ لوکس در شکل ۴ نشان داده شده است.

عبور اشعه UV از پساب در ۲۵۴ nm با غلظت TSS پساب در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: درصد عبور اشعه UV در مقابل محتوای TSS پساب ثانویه



شکل ۳: لگاریتم غیرفعال سازی باکتری های هدف در گندزدایی پساب ثانویه توسط: الف: لامپ کم فشار، ب: لامپ فشار متوسط و ج: تلفیق لامپ های کم فشار و فشار متوسط

بررسی میزان رسوب گذاری بر سطح کوارتز

همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده، کیفیت نامطلوب پساب منجر به رسوب گذاری در پوشش کوارتز شده است.

بحث

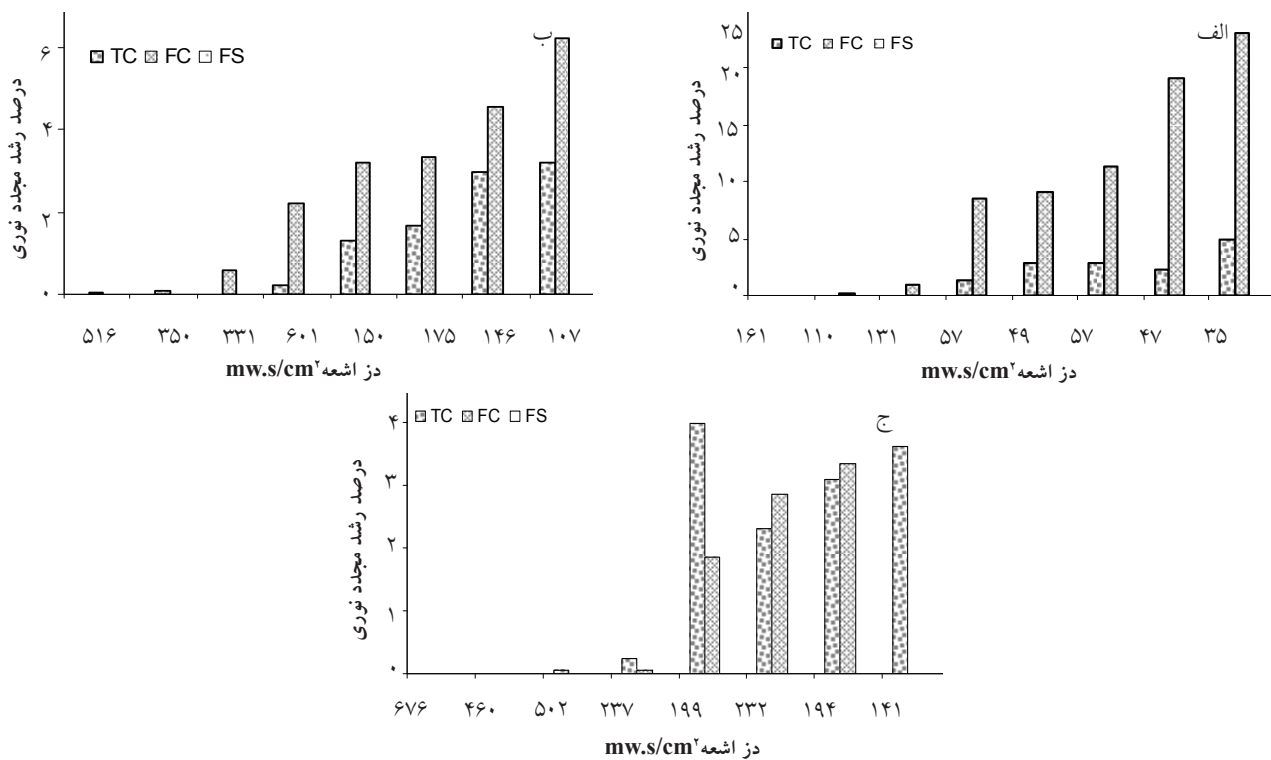
ضرایب هم بستگی بین دو پارامتر جامدات معلق کل (TSS) و درصد عبور اشعه UV حاکی از آن است که در پساب ثانویه با افزایش غلظت جامدات معلق، درصد عبور اشعه به طور معنی داری کاهش یافته است ($P\text{-value} < 0.05$). علامت منفی نشانگر رابطه معکوس بین غلظت جامدات معلق پساب و درصد عبور اشعه است.

به طور متوسط در ۲ درصد از کلیفرم های کل و مدفوعی پس از گندزدایی رشد مجدد مشاهده شده است.

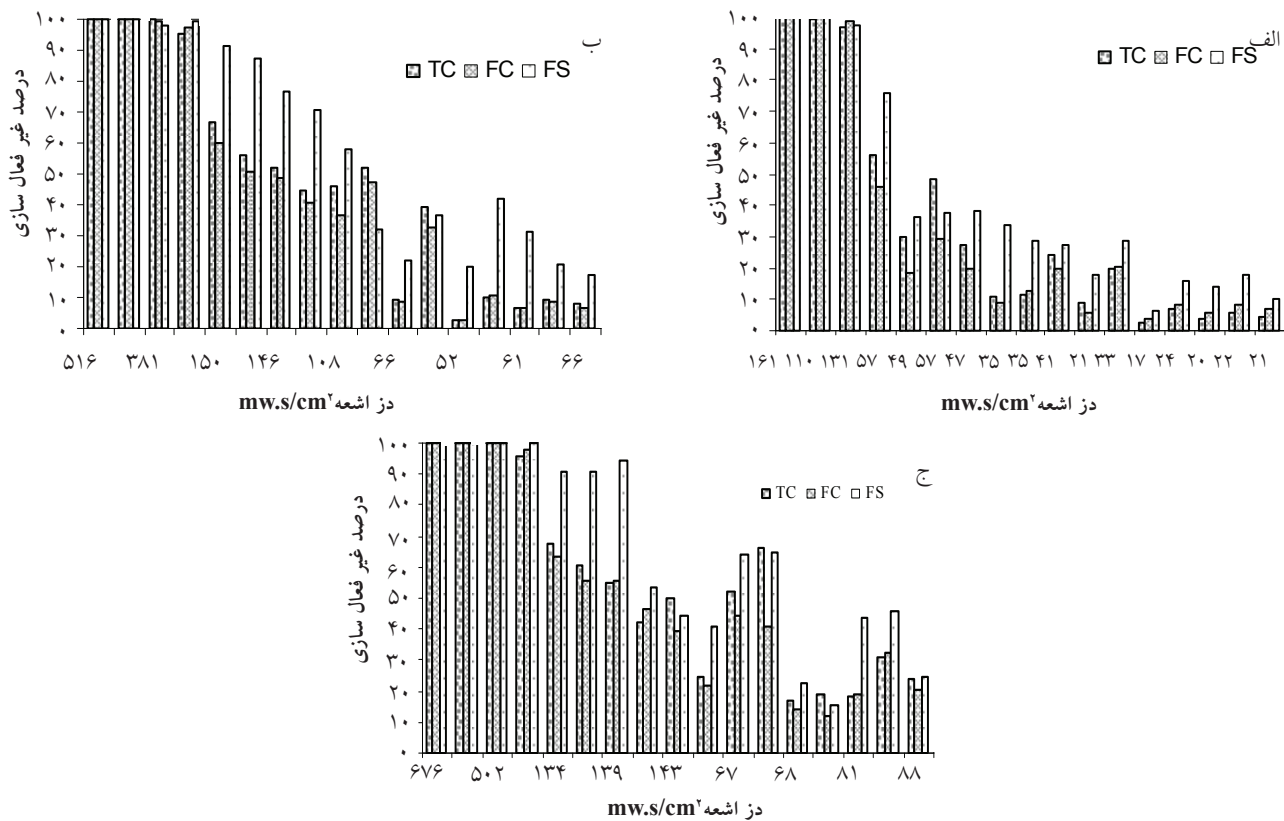
کارایی سیستم UV در گندزدایی پساب ثانویه در حالت مجزا و تلفیق هر دو نوع لامپ در شکل ۵ نشان داده شده است.

براساس مطالعات پایلوت، شرایط مناسب گندزدایی پساب ثانویه با لامپ های کم فشار، فشار متوسط و تلفیق هر دو لامپ در دبی ورودی به راکتور 2 L/min و کلیفرم کل، مدفوعی و استرپتوکوک ورودی به ترتیب در $10^6 \times 5/3$ ، $10^6 \times 2/1$ و $10^5 \times 2/1$ در جدول ۴ آمده است.

در این مطالعه pH تاثیری بر عملکرد گندزدایی سیستم UV نداشت.



شکل ۴: فعالیت مجدد باکتری های هدف پس از گذردایی پساب ثانویه توسط: الف: لامپ کم فشار، ب: لامپ فشار متوسط و ج: تلفیق لامپ های کم فشار و فشار متوسط



شکل ۵: کارایی الف: لامپ کم فشار، ب: لامپ فشار متوسط و ج: تلفیق لامپ های کم فشار و فشار متوسط در غیر فعال سازی باکتری های هدف

جدول ۴: شرایط مناسب گندزدایی پساب ثانویه با لامپ های فرابنفش

نوع لامپ	شدت متوسط m.W/cm ²	زمان s	دز اشعه mW.s/cm ²	UVT %	TC (out) MPN/ 100mL	FC(out) MPN/ 100mL	FS(out) MPN/ 100mL
LP	۲	۸۴	۱۶۱	۱	۱۰۰۰	۲۸۰	۲۲۰
MP	۸	۶۳	۵۱۶	۱	۷۱۰	۳۴۰	۱۶۰
LP+MP	۱۰	۱۴۷	۶۷۷	۱	۱۲۰	۱۰۰	۵۰



شکل ۶: نمایی از رسوب تشکیل شده بر سطح کوارتز لامپ های فشار متوسط و کم فشار UV

مجدد مشاهده شد در حالی که در مطالعه آندریاداکیس، دز UV لازم برای گندزدایی پساب خروجی ثانویه، جهت رسیدن کلیفرم ها به کم تر از ۱۰۰ FC / ۲۰۰۰ mWs/cm² حدود ۶۰-۳۰ بود (۹) و در مطالعه عبدالناصر حسن، دز ۳۰-۶۰ mws/cm² باعث کاهش ۳ لگاریتم (log ۳) از کلیفرم های کل و ۱۰۸ دفعه در پساب ثانویه شد که دزهای بالاتر از این مقدار به خاطر بار زیاد کلیفرم ها، افزایش قابل ملاحظه ای در میزان غیرفعال سازی نداشت (۱۰).

دلیل عمده کاهش غیر فعال سازی باکتری ها در گندزدایی پساب ثانویه بدون استفاده از سیستم پیش تصفیه، وجود غلظت بالای ذرات و عمدتاً با اندازه بزرگ و فلوک های خارج شده از حوض ته نشینی ثانویه می باشد. این ذرات قادر به پراکنش اشعه UV هستند یا از باکتری ها در برابر پرتو محافظت می کنند. از آن جا که کیفیت پساب برای عبور اشعه مناسب نبوده (۵٪ UVT=) این میزان غیرفعال سازی در نتیجه زمان تماس نبه نسبت بالا (۸۰-۴۰ ثانیه) بوده است. به دلیل اندازه بزرگ ذرات، نفوذ ناقص اشعه و در نتیجه دز ناکافی اشعه دریافتی، رشد مجدد بخش قابل توجهی از کلیفرم ها پس از گندزدایی مشاهده شده است. در گندزدایی پساب ثانویه با لامپ فشار

عبور اشعه در طول موج ۲۵۴ nm از پساب ثانویه ۵/۳ درصد بوده است. با توجه به این که جامدات معلق مهم ترین عامل جذب اشعه و پناه گاه مناسب میکروارگانیسم ها در برابر اشعه است، با افزایش غلظت TSS، میزان جذب اشعه UV نیز افزایش یافته و در نتیجه باعث کاهش انتقال اشعه به میکروارگانیسم ها شده است. در مطالعه حاضر کلیفرم کل، مدفوعی و استریپتوکوک مدفوعی در گندزدایی پساب ثانویه با لامپ کم فشار در حداکثر دز اشعه ۱۶۱ mWs/cm² به ترتیب از ۱۰^۶×۳/۵، ۱۰^۵×۲ و ۱۰^۲×۱/۵×۸/۵ به ۱۰^۲×۴/۲ کاهش یافته که پس از ۳ ساعت مواجهه با نور خورشید در آزمایشگاه (۶۰۰۰ Lux) و کشت مجدد نمونه ها، تعداد کلیفرم های کل و مدفوعی به ۱×۱۰^۲، ۲/۸×۱۰^۲ رسیده و در استریپتوکوک رشد مجددی مشاهده نشده است. این تعداد در حد استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران جهت تخلیه پساب است (۱۰۰ TC / ۱۰۰۰ و ۱۰۰ FC / ۴۰۰). استریپتوکوک حتی در دزهای ۱۱۰ و ۱۲۰ mws/cm² هم تا حد زیادی غیر فعال شده است به طور متوسط در ۱۵ درصد از کلیفرم های کل و ۳ درصد از کلیفرم های مدفوعی پس از گندزدایی با لامپ کم فشار رشد

بولتون ۲۰ درصد در دز 5 mJ/m^2 و کمتر از یک درصد در دز 40 mJ/m^2 گزارش شد. در این مطالعه با اعمال دز بیشتر، رشد مجدد کمتری مشاهده شد. به طوری که حداکثر رشد مجدد کلیفرم های کل و مدفوعی در پساب گندزدایی شده با لامپ LP بوده که به ترتیب ۱۵ و ۳ درصد در دز mJ/m^2 ۵۱ مشاهده شد. بر اساس آزمون آماری Paired t. Test به طور کلی تفاوت معنی داری در تعداد باکتری ها قبل و بعد از پرتو دهی پساب ثانویه با اشعه UV مشاهده نشد ($P > 0.05$). بر اساس آزمون آماری independent_t test، به دلیل درصد عبور کم اشعه از پساب، تفاوت معنی داری بین میانگین کارایی سیستم های کم فشار و فشار متوسط در غیرفعال سازی باکتری های هدف مشاهده نشد ($P > 0.05$).

رسوب گذاری بر سطح کوارتز بسته به کیفیت پساب ثانویه مورد پرتو دهی، به ویژه از نظر محتوای TSS متفاوت بود به طوری که پس از یک هفته حداکثر تشکیل رسوب در غلظت $194 \text{ mg/L TSS} = \text{mg/L}$ بوده است. غلظت های متوسط سختی کل و آهن در پساب ثانویه به ترتیب $289 \text{ mg/L as CaCO}_3$ و 72 mg/L اندازه گیری شد که با تشکیل رسوب سخت بر سطح کوارتز، بر عبور اشعه تاثیر منفی داشت. اساس استاندارد آهن در گندزدایی با اشعه 2 mg/L UV توصیه شده که در این مطالعه، کم تر از حد استاندارد اندازه گیری شد (۲). در هر بار اندازه گیری شدت اشعه اولیه خروجی از لامپ، پوشش کوارتز با فشار آب و محلول اسید سیتریک و اسید فسفریک شست و شو داده می شد.

نتیجه گیری

بر اساس یافته های حاصل از این مطالعه، می توان نتیجه گرفت که اگر چه امروزه استفاده از اشعه UV در گندزدایی پساب به سرعت در حال افزایش است ولی پساب خروجی از تصفیه خانه باید کیفیت مطلوب برای گندزدایی را داشته باشد. بر این اساس قبل از کاربرد این تکنولوژی در مقیاس کامل بایستی مطالعات پایلوت در محل تصفیه خانه به عمل

متوسط در دبی 2 L/min با حداکثر دز 516 mws/cm^2 ، تعداد باکتری های مذکور به ترتیب به $1/6 \times 10^2$ و $2/7 \times 6,10^2/5 \times 10^2$ کاهش یافته که پس از فعالیت مجدد، تعداد کلیفرم های کل و مدفوعی به $3/4 \times 10^2$ و $7/1 \times 10^2 \text{ MPN / 100 mL}$ رسیده است. کارایی لامپ فشار متوسط در گندزدایی پساب ثانویه در دز 516 mws/cm^2 حدود ۹۹/۹۹ درصد بوده است. در گندزدایی متوالی با هر دو نوع لامپ (کم فشار و فشار متوسط) با دز تجمعی $676/5 \text{ mws/cm}^2$ ، تعداد باکتری ها به $10^2 \times 4,100/5$ و عدد کاهش یافته که پس از فعالیت مجدد فقط تعداد کلیفرم های کل به $1/2 \times 10^2$ رسید. به عبارتی در ۲ درصد از کلیفرم ها رشد مجدد حاصل شد. کارایی گندزدایی تلفیقی با لامپ های کم فشار و فشار متوسط حدود ۹۹/۹۹ درصد بوده است. در دبی های بالاتر (تا 26 L/min) به خاطر کاهش دز اشعه (26 mws/cm^2) در نتیجه زمان تماس کم، پرتو دهی تاثیر چندانی نداشته و کارایی غیرفعال سازی باکتری ها ۲۰ درصد بوده است. این در حالی است که بر اساس بررسی های زیمر، دزهای $20-30 \text{ mJ/cm}^2$ باعث رشد مجدد میکروارگانیسم ها پس از گندزدایی با اشعه UV شد ولی دزهای بالاتر از 80 mJ/cm^2 با غیر فعال سازی ۸۰ درصد از میکروارگانیسم ها، رشد مجددی مشاهده نشد (۱۱).

علت این اثر کم این است که ذرات داخل پساب اشعه UV را ۱۰۰۰۰ برابر بیش تر از مایع جذب می کنند و چنانچه باکتری ها در پساب به صورت آزاد باشند در تماس با دز کافی اشعه غیرفعال می شوند. در صورتی که باکتری ها توسط ذرات محافظت شوند هر چند هم که دز اشعه افزایش داده شود، غیر فعال سازی چشم گیری در باکتری ها ایجاد نشده و فقط هزینه پرتو دهی افزایش خواهد یافت و یا آسیب وارده به میکروارگانیسم موثر نبوده و مجدداً میکروارگانیسم ها پس از مواجهه با نور مرئی قابلیت رشد خواهند داشت. همان طور که مطالعات لوکاس نیز نشان داده بود، رشد مجدد استرپتوکوک ها پس از مواجهه با 5600 لوکس نور مرئی مشاهده نشد (۱۲). رشد مجدد کلیفرم ها بسته به دز پرتو تابی در مطالعه میتینگ و

جهت گندزدایی پساب تصفیه خانه فاضلاب شمال اصفهان با اشعه UV، پیشنهاد می شود که با استفاده از واحدهای تصفیه پیشرفته مانند فیلتراسیون، جامدات معلق پساب قبل از سیستم گندزدایی کاهش داده شود.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی استانداری اصفهان و همکاری شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به انجام رسیده است که از همکاری و مساعدت آنها صمیمانه سپاس گزاری می شود.

آید تا شرایط کیفی پساب جهت گندزدایی با اشعه UV مورد ارزیابی قرار گیرد. در این مطالعه، گندزدایی مستقیم پساب ثانویه با اشعه UV به دلیل غلظت بالای جامدات معلق و عبور بسیار کم اشعه، فقط در دبی های کم و زمان پرتودهی نسبتا زیاد میسر بوده و در دزهای متداول عملا مقدر نیست و مستلزم استفاده از واحد های پیش تصفیه قبل از سیستم گندزدایی UV می باشد. هم چنین کیفیت نامطلوب پساب تصفیه خانه منجر به فعالیت مجدد باکتری ها پس از گندزدایی و رسوب گذاری قابل توجه بر سطح کوارتز گردید. بنابراین

منابع

1. Gómez M, de la Rúa A, Garralón G, Plaza F, Hontoria E, Gómez MA. Urban wastewater treatment disinfection by filtration technologies. *Desalination*. 2006;190(3):16-28.
2. NYSERDA. Evaluation of ultraviolet (UV) radiation disinfection technologies for wastewater treatment plant effluent. Final report. New York: New York State Energy Research and Development Authority; 2004 Dec. Report No.: 04 -07.
3. Takashi A, Burton FL, Leverenz HL, Tsuchihashi R, Tchobanoglous G. *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. New York: Metcalf & Eddy; 2007.
4. Liberti L, Notarnicola M, Petruzzelli D. Advanced treatment for municipal wastewater reuse in agriculture, UV disinfection: parasite removal and by-product formation. *Desalination*. 2003;152(1-3): 315-24.
5. Wang LK, Hung YT, Shammass NK. *Advanced Physicochemical Treatment Processes*. Totowa, NJ: The Human Press Inc.; 2006.
6. Metcalf & Eddy. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2003.
7. APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed. Washington DC: APHA; 1998.
8. Guo M, Hu H, Bolton JR, El-Din MG. Comparison of low and medium pressure ultraviolet lamps: Photo reactivation of *Escherichia coli* and total coliforms in secondary effluents of municipal wastewater treatment plants. *Water Res*. 2009;43(3): 815-21.
9. Andreadakis A, Mamais D, Christoulas D, Kabylafka S. Ultraviolet disinfection of secondary and tertiary effluent in the Mediterranean region. *Water Sci Technol*. 1999;121(6):2-5.
10. Abdennaceur H. Disinfection of treated wastewater in a large scale pilot plant and inactivation of selected bacteria in laboratory UV device. *Bioresource Technology*. 2000;74 (3):141-50.
11. Zimmer JL, Slawson RM. Potential repair of *Escherichia coli* DNA following exposure to UV radiation from both medium- and low-pressure UV sources used in drinking water treatment. *Applied & Environmental Microbiology*. 2002;68(7):3293-99.
12. Locas A, Demers J, Payment P. Evaluation of photoreactivation of *Escherichiacoli* and *Entrococci* after UV disinfection of municipal wastewater. *Microbiol*. 2008;54:971-75.

Survey on possibility of Disinfection of Isfahan North Wastewater Treatment Plant Effluent by Low and Medium Pressure Ultraviolet Systems in Pilot Scale

Hashemi H.¹, *Amin M.M.², Bina B.², Movahedian Attar H.², Farrokhzadeh H.²

¹Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Shahrekord University of Medical Sciences, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran

²Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

Received 18 October 2009; Accepted 28 Desember 2009

ABSTRACT

Backgrounds and Objectives: Today, due to health, environmental and economical problems, of chlorine application, UV radiation is better option than chlorine for disinfection of effluent. The aim of this study was disinfection of secondary effluent with UV radiation.

Materials and Methods: Two types of UV disinfection system including low pressure (LP) and medium pressure (MP) was used to disinfection of Isfahan North Wastewater Treatment Plant (INWWTP) effluent without pretreatment. Single and combined lamps were operated to evaluate the removal of total and fecal coliforms (TC and FC), and fecal streptococcus (FS). TSS, iron, hardness, UV absorption and transmittance were analyzed in order to observe the fouling of the quartz sleeves.

Results: After using LP lamp with dose of 161 mws/cm², TC and FC content was declined to standard level (1000 TC, and 400 FC/100ml). In addition, disinfection with MP lamp was led to FS content of 400 MPN/100 mL. Combination of LP and MP, with dose of 460 mws/cm² could be met the environmental requirements of TC & FC, and the FS count was reached to 400 MPN/100 mL with dose of 237 mws/cm². Maximum photo-reactivation percentage of coliforms after LP and MP lamps were appeared 15 and 3 percent respectively, while it was not observed for FS.

Conclusion: High fluctuation in secondary effluent quality of INWWTP mainly TSS concentration was caused to decline of the UVT value. Therefore, disinfection of effluent by LP, MP and even combined both systems are not applicable in conventional UV dose. Hence, using advanced process unit before UV disinfection system is necessary for removal of TSS.

Key words: Low and Medium pressure UV system, Disinfection, Isfahan North WWTP

*Corresponding Author: amin@hlth.mui.ac.ir

Tel: +98 311 6682509 Fax: +98 311 6682509