

کاربرد سیستم تلفیقی فیلتراسیون و اشعه فرابنفش در گندزدایی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان در مقیاس پایلوت

محمد مهدی امین^۱ حسین موحدیان عطاری^۴
حسن هاشمی^۲ ادیب جابری^۵
افشین ابراهیمی^۳ حسین صفاری^۶
بیژن بینا^۴ زهرا موسویان^۶

(دریافت ۸۸/۶/۲ پذیرش ۸۹/۴/۲۷)

چکیده

هدف از انجام این مطالعه، ارزیابی امکان گندزدایی پساب تصفیه ثانویه در شرایط راهبری فعلی تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان با استفاده از سیستم گندزدایی تلفیقی شامل فیلتراسیون و اشعه فرابنفش بود. به این منظور، سیستم پایلوت شامل واحدهای فیلتر شنی تحت فشار، لامپ فرا بنفش کم فشار (LP) و فشار متوسط (MP) طراحی و به‌طور سری در محل تصفیه‌خانه نصب شد. دز UV بر اساس شدت اولیه لامپ، دبی و عبور اشعه از پساب متغیر بود. پارامترهای میکروبی کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی و استرپتوکوک مدفوعی و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی TSS، UVT، BOD₅، COD، pH، VSS، در قبل و بعد از واحدها مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که فیلتراسیون پساب تا بارگذاری هیدرولیکی ۱۰۵۰ L/m².hr و به‌دنبال آن لامپ فشار متوسط با دز متوسط ۲۳۰ mw.s/cm² گزینه‌ای مؤثر برای کاهش کلیفرم‌ها در پساب تصفیه ثانویه است. بنابراین فرایندهای تلفیقی گندزدایی، توانایی برآورده کردن استاندارد سازمان محیط زیست به میزان ۱۰۰۰ کلیفرم کل و ۴۰۰ کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر به‌منظور تخلیه پساب به آبهای دریافت کننده یا استفاده مجدد محدود در کشاورزی را دارا هستند. همچنین این فرایند قادر به غیر فعال‌سازی استرپتوکوک مدفوعی تا حدود ۶ لگاریتم است. در این مطالعه، شمارش تخم انگلها به‌دلیل عدم دسترسی به تکنیک‌های دقیق شناسایی کیست زنده مورد بررسی قرار نگرفت.

واژه‌های کلیدی: فرایندهای تلفیقی گندزدایی، پساب، فیلتر شنی تحت فشار، اشعه فرابنفش، تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان

Using Combined Processes of Filtration and Ultraviolet Irradiation for Effluent Disinfection of Isfahan North Wastewater Treatment Plant in Pilot Scale

Mohammad Mehdi Amin¹
Hossein Movahhedian Attar⁴

Hassan Hashemi²
Adib Jaberi⁵

Afshin Ebrahimi³
Hossein Saffari⁶

Bijan Bina⁴
Zahra Mousavian⁶

(Received Aug. 24, 2009 Accepted July. 18, 2010)

Abstract

This study was carried out to evaluate the secondary effluent disinfection of the Isfahan north municipal wastewater treatment plant using filtration and UV technology in current operational condition. The combined system was used in series in pilot scale including: Pressure Sand Filter + Low Pressure (LP) + Medium Pressure (MP) UV Lamps. The UV dose varied according to the initial intensity of lamp, flow rate and influent transmittance. Total coliform (TC), fecal coliform (FC) and fecal streptococcus (FS) were analyzed as microbiological parameters in all effluent samples. TSS, BOD₅, COD, VSS, pH and transmittance (UVT

1. Assoc. Prof., Research Center of Environment, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan.
2. Instructor of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord (Corresponding Author) (+98 311)7922686 h2_hashemi62@yahoo.com
3. Assist. Prof., Research Center of Environment, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan.
4. Prof., Research Center of Environment, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan.
5. M. Sc. of Industrial Eng., Isfahan Water and Wastewater Co., Isfahan
6. Expert of Environmental Health Eng., Isfahan Health Center, Isfahan

- ۱- دانشیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
- ۲- مربی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد (نویسنده مسئول) ۰۳۱۱۷۹۲۲۶۸۶ h2_hashemi62@yahoo.com
- ۳- استادیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
- ۴- استاد، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
- ۵- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، مدیر بهره‌برداری فاضلاب استان اصفهان، اصفهان
- ۶- کارشناس مسئول مهندسی بهداشت محیط، مرکز بهداشت استان اصفهان، اصفهان

percentage) were tested as physicochemical parameters, before and after the units. Results showed that the filtration with loading of 1050 lit/m².hr, followed by MP lamp with dose of 230 mW.s/cm² is an effective alternative to reduce the TC/FC and FS in the secondary effluent. The combined disinfection processes that were used in this study, could be met the standards of 1000 TC, and 400FC/100ml for effluent discharge to receiving waters or restricted reuses in the agriculture. This process can also inactivate the FS down to 6-log. Using low-pressure lamps due to low dose radiation for disinfection is not cost-effective. In this study, parasite egg counts due to lack of access to accurate identification techniques for alive cyst detection was not examined.

Keywords: Combined Disinfection, Effluent, Pressure Sand Filter, Ultraviolet Radiation, Isfahan North Wastewater Treatment Plant.

۱- مقدمه

جایگزینی فرایندهای جدید به طور آگاهانه عمل نموده و قبل از تغییر در فرایندهای تصفیه باید ارزیابی‌هایی در مقیاس پایلوت به عمل آورند [۳]. موانعی در به‌کارگیری لامپ UV وجود دارد که از آن جمله می‌توان به وجود کدورت، مواد معلق، رنگ، مواد کلوئیدی و مواد آلی محلول به‌عنوان پناهگاه باکتری‌ها، تفرق و جذب اشعه، کاهش شدت اشعه UV در اثر ایجاد جرم و رسوب بر روی دیواره لامپ و کاهش عمر لامپ اشاره نمود. تعداد پاتوژن‌های چسبیده به ذرات در فاضلاب، اثر زیادی بر عملکرد گندزدایی با UV دارد. بنابراین شدیداً توصیه شده که از سیستم فیلتراسیون قبل از واحدهای UV استفاده شود. خود فیلتر به‌تنهایی باعث حذف اکثر ذرات و بخشی از پاتوژن‌ها می‌شود و در نتیجه بارگذاری سیستم UV کاهش می‌یابد. بهترین روش برای اطمینان از مناسب بودن طرح انتخابی فیلتر و کیفیت پساب خروجی، انجام مطالعات پایلوت است [۲].

مطالعات زیادی در دنیا بر روی تصفیه و گندزدایی پساب به‌منظور استفاده مجدد انجام شده است. بر اساس مطالعات حمودا و همکاران^۱، در تصفیه پیشرفته پساب با فیلتر شنی به‌منظور استفاده کشاورزی در کویت، مقادیر SS و COD به ترتیب به ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و تعداد کلیفرم کل به ۲MPN/100mL کاهش یافت [۵]. مطالعات انجام شده نشان داده است که ذرات معلق در فاضلاب از طریق حفاظت میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش شانس بقای میکروب‌ها در طی گندزدایی با اشعه UV می‌شوند [۲]. بر اساس یافته‌های گومز و همکاران^۲ در اسپانیا به‌منظور گندزدایی فاضلاب شهری با فیلتراسیون، کارایی حذف کلیفرم مدفوعی و اشرشیاکلی توسط فیلتر شنی تحت فشار به ترتیب ۳۶ و ۳۴ درصد بوده است [۶]. بر طبق نتایج حاصل از مطالعات پایلوت لیبرتی و همکاران^۳ در سال ۲۰۰۲ در ایتالیا بر روی حذف پارازیت‌ها و تشکیل مواد جانبی در طی گندزدایی با اشعه UV، برای رسیدن به استاندارد کلیفرم کل در پساب حاصل از ته‌نشینی ثانویه و پساب فیلتر شده

تصفیه فاضلاب شهری و استفاده از پساب خروجی برای آبیاری زمین‌های کشاورزی، پرورش آبزیان و تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی، راهکارهای مناسبی برای مقابله با بحران کم آبی است. در استفاده پساب در هر یک از دسته‌بندی‌های بالا، سطوح مختلف تصفیه، حداقل کیفیت پساب مصرفی، پایش پساب‌های مورد استفاده و فواصل مجاز تخلیه این پساب‌ها از منابع آب پیشنهاد گردیده است [۱]. اگرچه تصفیه متداول فاضلاب شهری باعث حذف ۹۵ تا ۹۹ درصد برخی میکروارگانیسم‌ها می‌شود ولی این سطح تصفیه برای استفاده پساب، عمدتاً به دلیل وجود میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا کافی نیست. هدف اصلی گندزدایی پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری، کاهش غلظت پاتوژن‌های منتقل شده از راه آب به کمتر از مقدار عفونت‌زا است [۲].

گندزدایی با روشهای فیزیکی و شیمیایی انجام می‌شود. در بیشتر نقاط دنیا، کلر به‌عنوان گزینه برتر برای گندزدایی پساب‌های خروجی استفاده می‌شود اما نگرانی‌هایی در خصوص ایمنی و سلامت کارگران و عموم، پتانسیل سمیت پساب کلرزنی شده برای گیاهان و آبزیان، تشکیل محصولات جانبی گندزدایی و نیاز به کلر زیاد با توجه به مواد آلی زیاد پساب و در فصول سرد وجود دارد که باعث شده استفاده از کلر در گندزدایی پساب سؤال برانگیز باشد. با توجه به افزایش آگاهی‌ها در خصوص معایب گندزداهای شیمیایی، انتخاب اشعه UV یک گزینه برتر است [۳]. در سال ۱۹۸۸ حدود ۳۰۰ تصفیه‌خانه و تا سال ۲۰۰۴ حدود ۴۳۰۰ تصفیه‌خانه فاضلاب در ایالات متحده از سیستم UV برای گندزدایی پساب استفاده می‌کردند. تعداد تصفیه‌خانه‌های دارای سیستم UV در آمریکا، اروپا و شرق آسیا به‌طور معنی‌داری افزایش یافته و انتظار می‌رود که در دهه‌های آینده گسترش بیشتری داشته باشد [۴]. اگرچه استفاده از اشعه UV برای گندزدایی پساب مزایای بالقوه زیادی دارد، اما معایبی در ارتباط با هزینه، رسوبگذاری لامپ‌ها و فعالیت مجدد نوری میکروارگانیسم‌های هدف را نیز در بر دارد. بنابراین متخصصان تصفیه فاضلاب باید در خصوص

¹ Hamoda et al.

² Gomez et al.

³ Liberti et al.

($2FC/100ml$) مشخص شد که به ترتیب 160 و 100 اشعه UV لازم است [۷]. در مطالعه انجام شده در تصفیه‌خانه فاضلاب شهید محلاتی تهران، حداقل دز $40 mW.s/cm^2$ اشعه UV باعث کاهش ۴ تا ۶ لگاریتم از کلیفرم‌ها شد [۸]. محدودیتهای کلی در خصوص دز اشعه وجود ندارد ولی اغلب محدوده دز 100 تا $400 mW.s/cm^2$ متداول است [۹].

هدف از انجام این مطالعه، ارزیابی امکان‌گندزدایی پساب تصفیه ثانویه در شرایط راهبری فعلی تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان با استفاده از سیستم‌گندزدایی تلفیقی شامل فیلتراسیون و اشعه فرا بنفش بود.

۲- مواد و روشها

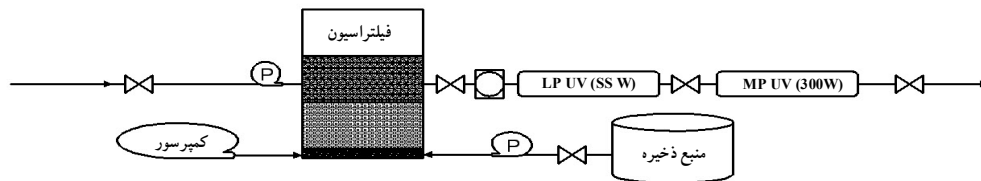
این مطالعه از نوع مداخله‌ای بوده و برای بررسی تأثیر پارامترهای کیفی پساب بر عملکرد UV، سیستم پایلوت با واحدهای فیلتراسیون، لامپ کم فشار^۱ UV و لامپ فشار متوسط^۲ UV طراحی و در محل تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان انجام شد. شکل ۱ شماتیک پایلوت مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

فیلتر مورد استفاده از نوع دو لایه تحت فشار با عمق بستر ۱ متر، اندازه ذرات ۴ تا ۶ میلی‌متر و $SOR=84-1091 lit/m^2.hr$ ^۳ بود. جنس بدنه، پلی‌اتیلن سه لایه با تحمل فشار هیدرواستاتیکی ۵ بار و دارای سطح مقطع $1/43$ مترمربع و ارتفاع ۲ متر بود که تحت

فشار ۲ بار، بهره‌برداری شد. به محض افزایش غلظت جامدات معلق در پساب خروجی فیلتر و یا افزایش افت فشار، شستشوی معکوس بستر شنی به‌طور متوالی با هوا و آب انجام می‌شد. برای ارزیابی عملکرد فیلتر، نرخ بار سطحی با اندازه‌گیری دبی ورودی کنترل می‌شد. سیستم‌های UV به‌صورت مدول لوله‌ای و از نوع کم فشار ($55 W$)، تک موج) و فشار متوسط ($300 W$)، چند موج) بود که پس از واحد فیلتراسیون نصب شد و برای بررسی عملکرد منفرد و تلفیقی آنها، لامپ‌ها به‌طور سری و موازی بهره‌برداری شدند. مشخصات فنی هر دو نوع سیستم UV طبق داده‌های شرکت سازنده در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان شامل دو فاز قدیم و جدید است که به‌روش لجن فعال بهره‌برداری می‌شود. از محل اختلاط پساب دو فاز تصفیه‌خانه، پساب با دبی ۲ تا ۲۶ لیتر در دقیقه وارد فیلتر شده و سپس پساب فیلتر شده در دزهای ۵۰۰ تا mWs/cm^2 ۱۰۰ مورد پرتودهی قرار گرفت. دز پرتودهی با تنظیم دبی ورودی به راکتور گندزدایی کنترل شد و زمان ماند هیدرولیکی به‌عنوان زمان پرتودهی در نظر گرفته شد. بنابراین دز پرتودهی از حاصل ضرب شدت متوسط اشعه در زمان پرتودهی بر حسب $mW.s/cm^2$ محاسبه گردید. شدت متوسط اشعه نیز با اندازه‌گیری شدت اولیه اشعه تابشی از لامپ، عمق نمونه مورد پرتودهی و میزان جذب اشعه توسط پساب بر حسب mW/cm^2 محاسبه شد [۱۰].

- ¹ Low Pressure (LP)
² Medium Pressure (MP)
³ Surface Overflow Rate (SOR)



شکل ۱- طرح شماتیک پایلوت مورد استفاده در این مطالعه

جدول ۱- مشخصات فنی سیستم فشار متوسط مورد استفاده

مدل	کل طول لامپ (mm)	طول مؤثر لامپ (mm)	قطر لامپ (mm)	طول پوشش کوارتز (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	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	۵-۴۰	۵۰۰۰	۱۷

انجام شد. از معادله درجه اول چیک - واتسون برای محاسبه لگاریتم غیر فعال سازی باکتری‌های پراکنده استفاده شد

$$N_D(t) = N_D(0)e^{-kd} \quad (1)$$

که در این رابطه

N_t تعداد باکتری‌های زنده مانده بلافاصله پس از گذردایی با اشعه UV بر حسب MPN/100ml، N_0 تعداد باکتری‌ها قبل از گذردایی با اشعه UV بر حسب MPN/100ml و K و d به ترتیب ضریب غیرفعال سازی و دز تابشی هستند.

به منظور ارزیابی نابودی کامل باکتری‌های هدف پس از پرتو دهی و قابلیت رشد مجدد آنها در حضور نور، حجم باقیمانده از نمونه پس از کشت اولیه و قرار دادن به مدت ۳ ساعت در معرض نور خورشید با شدت ۶۰۰۰ لوکس مجدداً کشت داده شد. از رابطه ۲ برای محاسبه درصد فعالیت مجدد نوری باکتری‌ها استفاده شد [۱۲]

$$P(\%) = \frac{(N_p - N_t)}{(N_0 - N_t)} \times 100 \quad (2)$$

که در این رابطه

N_p تعداد باکتری‌های فعالیت نموده در حضور نور بر حسب MPN/100ml است.

داده‌های حاصل از آزمایش‌ها با استفاده از نرم افزارهای Excel و SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

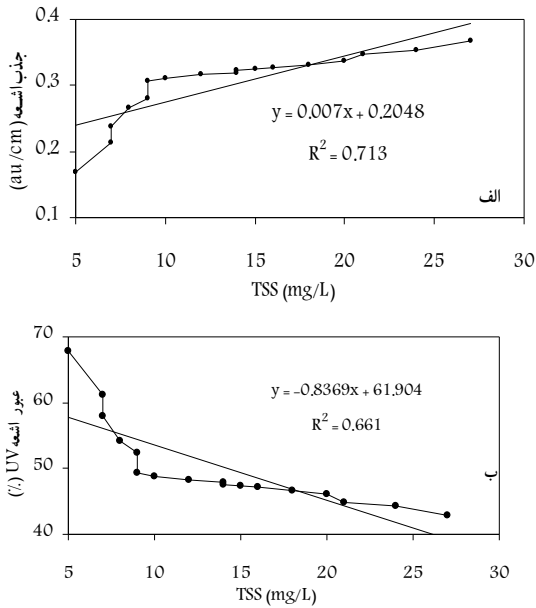
یافته‌ها و نتایج حاصل از این مطالعه در قالب جدولها و نمودارهایی مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در جدول ۳ مقادیر متوسط پارامترهای کیفی پساب ثانویه ورودی به پایلوت در زمان‌های مختلف نمونه برداری نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که شدت اولیه اشعه با طول عمر لامپ، رابطه عکس و با دمای بهره برداری لامپ رابطه مستقیم دارد که با روشهای مختلفی از جمله رادیومتری، اکتینومتری و مطالعات زیست آزمونی سنجیده می‌شود [۳]. در این مطالعه شدت اولیه اشعه با قرار دادن پروب C رادیومتر در سطح کاملاً تمیز کوارتز پس از حدود ۵ دقیقه اندازه‌گیری شد. مقادیر اندازه‌گیری شده در اوایل دوره بهره‌برداری سیستم متغیر و کم بود که با گذشت زمان به حد ثابت ۸ و 82 mW/cm^2 به ترتیب در لامپ کم فشار و فشار متوسط رسید. البته به دلیل خاموش و روشن کردن لامپ کم فشار در هر بار نمونه برداری به منظور بهره‌برداری آن به طور سری با لامپ فشار متوسط، شدت خروجی آن به حدود 7 mW/cm^2 کاهش یافت. فاصله بین سطح خارجی کوارتز تا سطح داخلی محفظه استیل راکتور به عنوان عمق پرتو دهی (d) در نظر گرفته شد. میزان جذب اشعه توسط پساب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR-5000 پس از جایگذاری کووت کوارتز استاندارد ۱ سانتی‌متر، در طول موج ۲۵۴ نانومتر بر حسب au/cm قرائت شد. طی مدت پنج ماه یعنی از دی‌ماه تا اردیبهشت، تحت شرایط مختلف کیفیت پساب و دز UV، نمونه برداری از پساب ورودی به پایلوت و قبل و بعد از هر واحد به طور هفتگی انجام شد. در هر نقطه ۱۷ نمونه و در مجموع ۸۵ نمونه به طور لحظه‌ای برداشته شد. نمونه‌ها در بطری ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و نمونه‌های میکروبی کلیفرم کل، مدفوعی و استرپتوکوک مدفوعی و پارامترهای شیمیایی VSS, pH, COD, BOD₅, UVT, TSS مطابق کتاب روشهای استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب آزمایش شدند [۱۱]. تمام آزمایش‌های میکروبی به روش MPN بسته به کیفیت پساب، نوع میکروارگانیسم و دز دریافتی در رقت‌های مختلف از 10^{-7} تا 10^{-1}

جدول ۳- کیفیت فیزیکی شیمیایی و میکروبی پساب ورودی به پایلوت در زمان‌های مختلف نمونه برداری

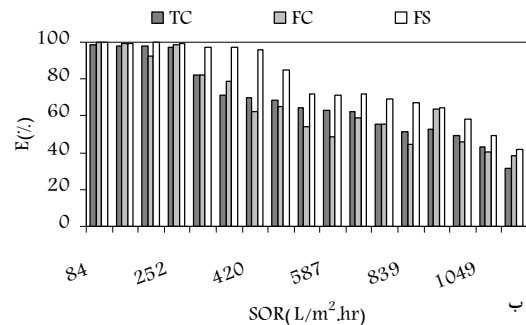
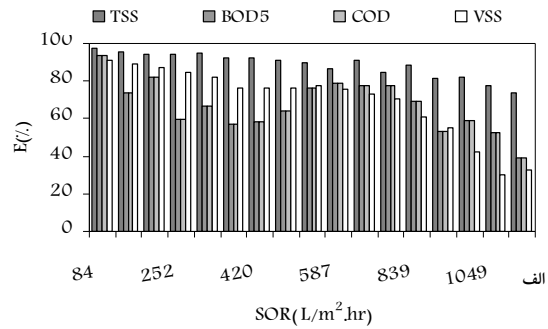
pH	VSS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TSS (mg/L)	TC (MPN/100ml)	FC (MPN/100ml)	FS (MPN/100ml)
۷/۱	۱۴۵	۸۴۳	۳۵۰	۱۹۴	$5/3 \times 10^7$	$2/1 \times 10^6$	2×10^4
۶/۹	۸۴	۲۱۴	۹۲	۱۵۰	$1/7 \times 10^7$	$5/3 \times 10^6$	$3/8 \times 10^5$
۷/۲	۹۳	۳۴۳	۲۴۰	۱۲۴	$1/6 \times 10^6$	$6/7 \times 10^5$	$1/1 \times 10^4$
۶/۸	۱۳۸	۱۶۸	۷۵	۱۴۲	$1/3 \times 10^7$	$7/2 \times 10^6$	4×10^5
۶/۵	۷۲	۲۱۵	۹۳	۱۸۴	$6/8 \times 10^5$	6×10^4	$3/3 \times 10^4$
۷/۴	۶۳	۱۷۳	۸۳	۱۱۸	$6/2 \times 10^5$	$6/3 \times 10^4$	$5/6 \times 10^5$
۷/۱	۴۲	۱۸۶	۸۷	۱۳۴	$6/9 \times 10^7$	$8/6 \times 10^6$	$8/9 \times 10^5$
۶/۹	۹۴	۲۵۷	۱۱۲	۱۳۷	$8/9 \times 10^7$	$5/5 \times 10^6$	$1/3 \times 10^4$
۷/۴	۱۰۸	۴۳۸	۲۱۴	۱۳۴	$9/6 \times 10^6$	$3/3 \times 10^5$	$4/5 \times 10^4$
۶/۴	۸۶	۳۱۶	۱۱۵	۱۰۴	$1/6 \times 10^6$	$5/5 \times 10^5$	$2/2 \times 10^4$
۶/۵	۵۲	۲۱۰	۷۴	۱۶۵	$2/1 \times 10^5$	$1/8 \times 10^5$	$1/7 \times 10^4$
۷/۲	۴۴	۱۸۶	۶۲	۱۰۴	$5/6 \times 10^5$	$1/7 \times 10^5$	6×10^4
۷/۵	۷۲	۲۲۱	۹۷	۱۵۲	$7/2 \times 10^6$	$3/5 \times 10^5$	4×10^4
۷/۱	۹۴	۲۴۶	۹۳	۱۰۹	$2/3 \times 10^6$	$7/4 \times 10^5$	$3/8 \times 10^4$
۶/۹	۱۱۴	۳۴۳	۱۱۲	۱۱۵	$4/2 \times 10^5$	$5/2 \times 10^4$	$5/7 \times 10^4$
۷/۲	۱۰۲	۲۷۰	۱۲۰	۱۰۶	$2/1 \times 10^6$	$6/1 \times 10^5$	4×10^4

۱-۳- عملکرد واحد فیلتراسیون در تصفیه پیشرفته پساب ثانویه
 کارایی واحد فیلتراسیون قبل از راکتورهای UV در حذف
 پارامترهای شیمیایی و میکربی پساب ثانویه در نمودارهای شکل ۲
 ارائه شده است.



شکل ۳- الف) میزان جذب و ب) درصد عبور اشعه UV در مقابل
 محتوای TSS پساب فیلتر شده

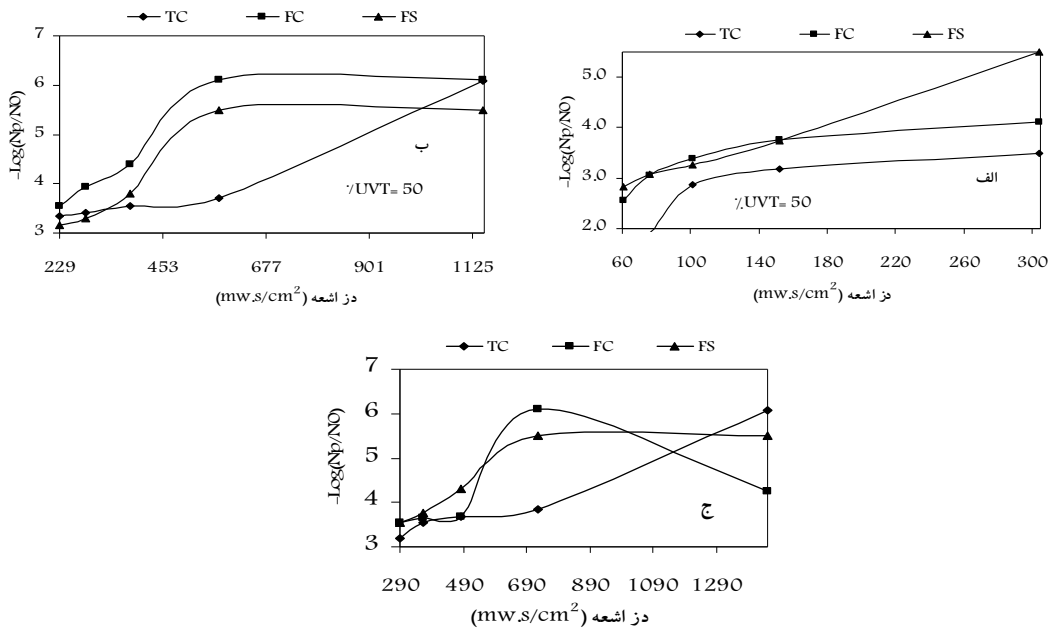
۲-۳- بررسی غیرفعال سازی و رشد مجدد باکتری‌های هدف
 غیرفعال سازی باکتری‌های هدف در گندزدایی پساب فیلتر شده
 UV به صورت لگاریتمی در مقابل دز اشعه تابشی در نمودارهای
 شکل ۴ آمده است. N_p تعداد باکتری‌های رشد مجدد یافته پس از
 پرتو دهی و N_0 تعداد اولیه باکتری‌ها قبل از گندزدایی است.
 تعداد کلیفرم‌های کل، مدفوعی و استرپتوکوک مدفوعی در طی
 گندزدایی پساب فیلتر شده تا $SOR = 336 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr}$ و با استفاده از
 لامپ کم فشار تا دز اشعه $205 \text{ mW} \cdot \text{s/cm}^2$ ، با رشد مجدد اندک به
 میزان ۲ تا ۴ لگاریتم، تا حد استاندارد غیر فعال شدند. سپس تا
 $SOR = 755 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr}$ و تا دز تابشی $89 \text{ mW} \cdot \text{s/cm}^2$ غیر
 فعال سازی باکتری‌ها کاهش یافت. به دلیل دریافت دز ناکافی اشعه
 توسط باکتری‌ها در اثر کیفیت نامطلوب پساب و زمان تماس کم،
 رشد مجدد باکتری‌ها پس از گندزدایی مشاهده شد. با توجه به اینکه
 کیفیت پساب فیلتر شده در $SOR < 755 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr}$ دارای کیفیت
 مناسب برای گندزدایی با اشعه UV بوده و از طرفی به دلیل
 محدودیت زمان تماس اشعه، امکان عبور کل پساب فیلتر شده از
 داخل راکتور مقدور نبود، لذا در نرخ فیلتراسیون بالا، بخشی از
 پساب از کنارگذر خارج می‌شد و با توجه به ظرفیت محدود راکتور
 گندزدایی، دبی معینی از پساب وارد راکتور می‌شد. به هر حال
 راکتور کم فشار تا $SOR = 1050 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr}$ جوابگوی گندزدایی کل



شکل ۲- کارایی واحد فیلتراسیون در حذف پارامترهای الف) شیمیایی و
 ب) میکربی پساب ثانویه

مقدار پارامترهای TSS، BOD₅، COD و VSS در پساب فیلتر شده
 با دبی ورودی ۲۵ لیتر در دقیقه و نرخ فیلتراسیون
 $1050 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr}$ به ترتیب ۲۴، ۴۶، ۱۲۸ و ۷۱ میلی‌گرم در لیتر و
 کارایی حذف باکتری‌های کلیفرم کل، مدفوعی و استرپتوکوک
 مدفوعی ۵۰ تا ۹۰ درصد بود. مقادیر جذب و عبور اشعه UV
 به عنوان تابعی از این پارامترها و مهم‌ترین آنها TSS در شکل ۳
 ارائه شده است.

ضرایب همبستگی بین دو پارامتر برای پساب فیلتر شده حاکی
 از آن است که با کاهش جامدات معلق پساب طی فرایند
 فیلتراسیون، میزان جذب اشعه توسط پساب کاهش و درصد عبور
 اشعه در پساب به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است
 $(P\text{-value} < 0/05)$. متوسط عبور اشعه در طول موج ۲۵۴ نانومتر
 در فاصله ۱ سانتی‌متر از پساب فیلتر شده ۵۱ درصد بود.



شکل ۴- لگاریتم غیرفعال‌سازی باکتری‌های هدف در گندزدایی پساب فیلتر شده توسط لامپ‌های الف (LP، ب) MP (ج) تلفیق دو نوع لامپ

کردند. کارایی گندزدایی در این شرایط ۹۹/۸ درصد بود. میزان غیرفعال‌سازی باکتری‌ها در پرتودهی پساب فیلتر شده با تلفیقی از لامپ‌های کم فشار و فشار متوسط، اندکی بیشتر از کاربرد لامپ فشار متوسط به تنهایی بود. اما در این گزینه از سیستم گندزدایی تلفیقی، امکان رشد مجدد کلیفرم‌ها در تعداد بیشتری از نمونه‌ها مشاهده شد ولی نه در حد قابل ملاحظه (۰/۰۱ درصد). دلیل اصلی این پدیده را می‌توان انتشار اشعه پلی کروماتیک توسط لامپ‌های فشار متوسط دانست که در پسابی با عبور نور مناسب، امکان رشد مجدد را فراهم می‌نماید. در هر حال چنانچه کیفیت پساب مورد پرتودهی مناسب باشد، در صورت تابش دز کافی اشعه، میکروارگانیسم‌ها غیر فعال خواهند شد و تابش دز بیشتر از حد نیاز صرفاً باعث افزایش هزینه سیستم گندزدایی خواهد شد. لازم به ذکر است که دز کاربردی برای سیستم گندزدایی UV باید کمی بیشتر از دز طراحی باشد تا از عدم رشد مجدد باکتری‌ها اطمینان حاصل شود. با توجه به مقادیر مشابه pH، تغییرات ناچیز آن تأثیری بر عملکرد سیستم نداشت. بر اساس آزمون آماری t زوجی، به‌طور کلی تفاوت معنی‌داری در تعداد باکتری‌ها قبل و بعد از پرتودهی پساب فیلتر شده با لامپ‌های فشار متوسط اشعه UV و همچنین تلفیق دو نوع لامپ وجود داشت (P-value < ۰/۰۰۱). به این معنی که بار میکربی پساب تصفیه و گندزدایی شده با فیلتر و لامپ فشار متوسط، به‌طور مؤثری تا حد استاندارد کاهش یافت. شمارش تخم انگل‌ها به‌دلیل عدم دسترسی به تکنیک‌های دقیق شناسایی کیست زنده، مورد بررسی قرار نگرفت.

دبی فیلتر شده از راکتور نبود و فقط درگندزدایی بخشی از دبی فیلتر شده در بارگذاری‌های بالا مؤثر واقع شد. در دبی‌های بالا به دلیل محدودیت شدت اشعه خروجی لامپ و زمان تماس کم، امکان رشد مجدد باکتری‌ها در اثر دریافت دز ناکافی اشعه بیشتر می‌شود. کارایی لامپ کم فشار در دز 205 mw.s/cm^2 حدود ۹۹/۸ درصد بود. تفاوت معنی‌داری در تعداد باکتری‌ها قبل و بعد از پرتودهی پساب فیلتر شده با لامپ کم فشار UV وجود داشت (P-value < ۰/۰۵). به این معنی که بار میکربی پساب فیلتر شده به‌طور مؤثری کاهش یافت، ولی به هر حال در دزهای متداول اشعه تابشی به حد استاندارد نرسید. غیرفعال‌سازی کلیفرم‌های کل، مدفوعی و استرپتوکوک مدفوعی در طی گندزدایی پساب فیلتر شده تا دبی $25 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr}$ و $1050 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr}$ ، با استفاده از لامپ فشار متوسط تا دز اشعه حدود 230 mw.s/cm^2 بدون رشد مجدد باکتری‌ها، ۳ تا ۶ لگاریتم بود یعنی باکتری‌ها تا کمتر از حد استاندارد غیر فعال شدند. این روند کاهش به ترتیب از $10^6 \times 1/2$ ، $10^5 \times 1/3$ و $10^4 \times 2/8$ به $4/6 \times 10^2$ ، $1/5 \times 10^2$ و $1/4 \times 10^2$ یعنی معادل ۹۹/۹۶ درصد بود.

در دبی ۲۶ لیتر در دقیقه و $1091 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr}$ ، پساب فیلتر شده کیفیت لازم برای گندزدایی با اشعه UV را نداشت و فیلتراسیون پساب در چنین شرایطی باعث انسداد زود هنگام منافذ بستر شده که نیازمند شستشوی مکرر بستر بود. از طرفی اگرچه پرتودهی بخشی از این پساب با دز نسبتاً بالا باعث غیرفعال‌سازی مؤثر باکتری‌ها شد ولی در ادامه، باکتری‌ها توانایی رشد مجدد پیدا

۴- نتیجه‌گیری

یافته‌های حاصل از این مطالعه نشان داد که

اینکه تعداد لامپ‌های مورد نیاز نیز به کمتر از نصف کاهش می‌یابد. هر چند که در این حالت در مقایسه با لامپ‌های کم فشار، معایبی از جمله هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بیشتر و تولید حرارت زیاد و امکان رسوبگذاری بر سطح کوارتز لامپ وجود دارد.

۵- با بهبود شرایط راهبری تصفیه‌خانه و ارتقای کیفیت پساب خروجی از طریق فیلتراسیون شنی تحت فشار و با اصلاح دانه‌بندی بستر فیلتر برای کاهش TSS، سیستم UV گزینه‌ای قابل رقابت با کلرزی به منظور گندزدایی و بازیابی حجم عظیم پساب در مصارف مختلف به خصوص آبیاری زمین‌های کشاورزی پایین دست تصفیه خانه محسوب می‌شود.

۱- سیستم فیلتراسیون با ارتقای کیفیت شیمیایی و میکروبی پساب، باعث نفوذ اشعه UV در ذرات متداول گندزدایی شد.

۲- رشد مجدد باکتری‌های هدف در طی گندزدایی پساب فیلتر شده در حد بسیار پایینی (۰/۰۳ درصد) بود.

۳- پیش تصفیه پساب توسط فیلتر شنی با $1050 L/m^2 \cdot hr$ و $SOR = 230 mW \cdot s/cm^2$ (با شدت متوسط $46 mW/cm^2$ و زمان تماس ۵ ثانیه) باعث غیر فعال سازی ۳ تا ۶ لگاریتم از کلیفرم‌های کل، مدفوعی و استرپتوکوک مدفوعی بدون رشد مجدد تا حد استاندارد میکروبی سازمان حفاظت محیط زیست ایران شد. لذا این روش گزینه‌ای مؤثر برای بازیابی پساب به منظور استفاده مجدد محدود در کشاورزی است. استفاده از لامپ کم فشار به دلیل دز تابشی کمتر، به منظور گندزدایی مقرون به صرفه نیست.

۴- با استفاده از لامپ‌های فشار متوسط UV به جای لامپ‌های کم فشار، امکان گندزدایی دبی بیشتری از پساب وجود دارد. ضمن

۵- قدردانی

این تحقیق با استفاده از اعتبارات اعطایی شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان و با همکاری معاونت بهره‌برداری و کمیته تحقیقات و بهبود بهره‌وری این شرکت و همچنین واحد بهداشت محیط مرکز بهداشت استان اصفهان انجام شد که از مسئولان سازمان‌های مذکور صمیمانه قدردانی می‌شود.

۶- مراجع

- 1- Hosseinian, M. (2002). *Reusing treated wastewater*, 1st Ed., Olume Rouz Pub., Tehran. (In Persian)
- 2- Asano, T., Burton, F. L., Leverenz, H. L., Tsuchihashi, R., and Tchobanoglous, G. (2007). *Water reuse: Issues, technologies, and applications*, Metcalf and Eddy, N.Y.
- 3- New York State Energy Research and Development Authority. (2004). *Evaluation of ultraviolet (UV) radiation disinfection*, NYSERDA, Inc., N.Y.
- 4- Corbet, D. (2005). *Wastewater reuse using UV disinfection*, 1st Ed., Halma Co., Netherlands.
- 5- Hamoda, M. F., Al-Ghusian, I., and Al-Mutairi, N. Z. (2004). "Sand filtration of wastewater for tertiary treatment and water reuse." *Desalination*, 164, 203-211.
- 6- Gomez, M., Rua, A., Garralon, G., Plaza, F., Hontoria, E., and Gomez, M.A. (2006). "Urban wastewater treatment disinfection by filtration technologies." *Desalination*, 190, 16-28.
- 7- Liberti, L., Notarincola, M., and Petruzzelli, D. (2002). "Advanced treatment for municipal wastewater reuse in agriculture, UV disinfection: Parasite removal and by-product formation." *Desalination*, 152, 315-324.
- 8- Dabbagh, R. (2009). "Microbial removal efficiency of UV in Tehran Shahid Mahallati wastewater treatment plant." *J. of Water and Wastewater*, 69, 59-66. (In Persian)
- 9- Chen, J. P., Yang, L., Wang, L.K., and Zhang, B. (2006). *Advanced physicochemical treatment processes*, The Human Press Inc., Totowa, NJ.
- 10- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, H.D. (2003). *Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse*, 4th Ed., Metcalf and Eddy, McGraw-Hill Inc., USA.
- 11- APHA., WEF. and AWWA. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th Ed., American Public Health Association, Washington, DC.
- 12- Guo, M., Bolton, R.J., and Din, G.M. (2009). "Comparison of low and medium pressure ultraviolet lamps: Photo reactivation of Escherichia coli and total coli forms in secondary effluents of municipal wastewater treatment plants." *J. Water Research*, 43 (3), 815-821.