Archive of SID

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره هفت، مهرماه ۹۹

مقایسه پرتوهای گاما و اشعه ماورای بنفش در کنترل رشد مجدد میکروارگانیسم ها در پساب فاضلاب شهری

امیر حسین مداح[۱]

مارال خدادادی[۲*]

khodadadi.maral@gmail.com

ساناز خرمی پور[۳]

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۹ تاریخ پذیرش:۹۷/۴/۲۷

چکیده

زمینه و هدف: استفاده از پساب فاضلاب به منظور کشاورزی به دلیل کمبود شدید منابع آب در ایران، اجتناب ناپذیر شده است. گندزدایی یکی از مراحل مهم در تصفیه آب است. هر چند فن آوری های گندزدایی رایج مانند کلرزنی می توانند به طور موثری عوامل بیماریزای میکروبی را کنترل کنند، لیکن محصولات ناخواسته گندزدایی را ایجاد می کنند که سمی و سرطان زا هستند. هدف مطالعه حاضر مقایسه کارایی گندزدایی و کنترل رشد مجدد آلودگی زیستی پساب فاضلاب شهری با استفاده از تیمارهای پرتو گاما و اشعه ماوراءبنفش می باشد.

روش بررسی: نمونه پساب ثانویه (قبل از واحد کلرزنی) از تصفیه‌خانه تهران جنوب جمع‌آوری شد. از دزهای پرتو گاما ۰/۵، ۱، ۲، ۴ و ۶ کیلوگری استفاده شد. سیستم گندزدایی اشعه ماورای بنفش با حجم راکتور ۱ لیتر ساخته شد. کارایی گندزدایی بر اساس تعیین شمارش کل کلنی و کلیفرم کل ارزیابی شد. جهت ارزیابی رشد مجدد میکروبی نمونه‌ها در دمای ۲۲درجه سانتی گراد و ۱۰۰ دور در دقیقه در محل تاریک به مدت سه روز انکوبه شدند.

یافته ها: تعداد کلیفرم کل در شروع آزمایش در همه دزهای پرتو گاما صفر بود. لیکن در دزهای کمتر از ۲ کیلوگری رشد مجدد کلیفرم کل مشاهده شد. در تیمار اشعه ماورای بنفش شدت جریان ورودی، در زمان شروع آزمایش در شدت جریان کم بیشترین کارایی گندزدایی وجود داشت. لیکن با گذشت سه روز در همه شدت جریان‌ها جمعیت کلیفرم کل از حد مجاز بیشتر بود.

بحث و نتیجه گیری: پرتوتابی گاما می‌تواند به عنوان یک تکنیک موثر نسبت به روش ماورای بنفش جهت گندزدایی بدون رشد مجدد میکروبی به کار رود.

واژه‌های کلیدی: پرتوهای یونیزان، پرتوهای غیر یونیزان، گندزدایی، رشد مجدد میکروبی، پساب شهری.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی، آلودگی‌های محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استادیار پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کرج، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.7, October, 2020

Comparison of gamma ray and ultraviolet radiation on regrowth control of microorganism in urban sewage effluent

Amir Hossein Madah [1]
Maral Khodadadi[2*]
khodadadi.maral@gmail.com
Sanaz Khorami Pour [3]

Admission Date:July 18, 2018 Date Received: April 29, 2018

Abstract

Background and Objective: Due to the severe shortage of water resources in Iran, the application of wastewater effluent for agriculture has become inevitable. Disinfection is one of the crucial steps in water treatment. Common disinfection technologies such as chlorination can effectively control microbial pathogens; however, undesirable disinfection byproducts (DBPs) are known to be toxic and carcinogenic. Therefore, the present study aimed to compare disinfection efficiency and regrowth control of microorganisms in urban wastewater effluent using gamma radiation and Ultra Violet treatments.

Method: The pre-disinfection effluent (before chlorination unit) was collected from south Tehran wastewater treatment plant, Tehran, Iran. The applied gamma radiation doses were 0.5, 1, 2, 4 and 6 kGy. UV disinfection systems were developed using a reactor with 1 L of liquid volume. The disinfection efficiency was evaluated based on the total colony count and total Coliform. For bacterial regrowth evaluation, the samples were incubated at 22 ◦C, 100rpm for three days in dark condition.

Findings: The number of total Coliform in all gamma ray doses was zero at the beginning of the experiment. The re-growth of total Coliform was observed at doses less than 2 kGy. In the treatment of ultraviolet radiation, at the beginning of the experiment, the lowest flow rate had the highest disinfection efficiency. However, after three days, the total Coliform population was higher than the allowed limit in all of the inflow rates.

Discussion and Conclusion: Gamma radiation can be applied as an effective alternative technique to UV treatment for disinfection processes without bacterial regrowth.

Key Words: Ionizing radiation, Non-ionizing radiation, Disinfection, Microbial Regrowth, Urban Sewage Effluent.

1- M.S. Student in Environmental pollution, Department of Environment, Management Faculty, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran.
2-Assistant Professor, Nuclear agriculture research school, Nuclear Science and Technology Institute. *(Corresponding Author)
3-Assistant Professor, Department of Environment, Management Faculty, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

یکی از مشکلات کنونی و آینده جوامع بشری، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، تامین آب کافی و با کیفیت مناسب جهت کشت و کار است. با توجه به وضعیت اقلیمی کشور و بحران کمبود آب، استفاده از آب‌های نامتعارف نظیر فاضلاب شهری در بخش کشاورزی یکی از راه‌کارهای مقابله با این مشکل است. در کشور ایران از میزان ۳,۹ میلیارد متر مکعب فاضلاب شهری ایجاد شده، تنها ۹ درصد آن تصفیه و ۹۱ درصد دیگر بدون تصفیه وارد چاه‌های جذبی، رودخانه‌ها و یا زمین‌های کشاورزی می شود (۱). هر چند کاربرد پساب یا فاضلاب در بخش کشاورزی با فواید زیادی توأم می‌باشد. لیکن کاربرد بدون برنامه‌ریزی دقیق و اعمال مدیریت و نظارت صحیح آن، به دلیل وجود آلاینده‌های آلی، معدنی و جانداران بیماری‌زا، می تواند آثار مخربی در پی داشته باشد (۲). مشکل اصلی پساب تصفیه‌خانه‌های شهری ایران، میزان بالای عوامل بیماری‌زا مانند کلی‌فرم (Coliform) بوده که معمولاً بسیار بیشتر از حد مجاز می‌باشد و BOD و COD آن‌ها در آستانه مرز خطرناکی است (۳).

گندزدایی پساب نهایی تصفیه خانه فاضلاب، یکی از مهمترین مراحل تصفیه فاضلاب است که جهت حفاظت منابع آب و یا استفاده مجدد از آن انجام می‌پذیرد. در کشورهای در حال توسعه برای گندزدایی عمدتاً از روش‌های شیمیایی مبتنی بر ترکیب‌های کلر به دلایل سهولت کاربرد و هزینه کم‌تر استفاده می‌کنند (۴). لیکن این روش به‌دلیل مخاطرات زیست محیطی ترکیب‌های کلر که محصولات ناخواسته گندزدایی DBPs (Disinfection By-Products)) مانند ترکیب‌های سمی و مقاوم‌تر از ترکیب‌های اولیه از قبیل تری‌هالومتان ها (Trihalomethane) را تولید می‌کنند و برخی معایب دیگر، تقریباً منسوخ شده است. پرتوهای یون‌ساز گاما (Gamma) و غیر یون‌ساز ماورای بنفش (Ultraviolet) UV) و ازن (Ozone) و یا ترکیبی از دو مورد از این مواد به عنوان گزینه جایگزین مطرح گردیده است. امروزه کاربرد سایر گندزداها از قبیل پرتوهای غیریون‌ساز ماورای بنفش UV و یون‌ساز گاما و بیم الکترون (β –rays) به عنوان گزینه جایگزین مطرح گردیده است (5). تکنولوژی پرتوتابی با استفاده از پرتوهای غیر یونیزان شامل ماورای بنفش UV و پرتوهای یونیزان شامل بیم الکترون (β –rays) و پرتو گاما به عنوان روش های موثر و سریع تصفیه فاضلاب محسوب می شوند (۶-۸). مزیت پرتوگاما در مقایسه با بیم الکترون نفوذ بیشتر در مواد و در نتیجه امکان پرتوتابی عمیق‌تر فاضلاب (۹) و دز کشنده کمتر برای دستیابی به گندزدایی مشابه است (۱۰). ساز و کار متفاوت گندزدایی پرتو یون‌ساز، تشکیل رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل، هیدروژن، الکترون هیدراته و غیره و غیریون‌ساز، آسیب مستقیم به DNA ریزجانداران و تشکیل ترکیب‌های نوری مانند دیمر پیریمیدین (Dimer Pyrimidine) است. یک مشکل عمده در ارتباط با فرآیند گندزدایی این است که میکروارگانیسم‌ها می‌توانند پس از تخریب بازسازی شده و در نتیجه رشد مجدد زیاد میکروبی رخ دهد (۱۱). به عنوان مثال تخریب DNA با استفاده از UV می‌تواند بازسازی شود. بنابراین فاضلاب بایستی قبل از گندزدایی تصفیه شود تا عمل گندزدایی به طور موثر انجام پذیر باشد. محققان مختلف به بررسی کارایی پرتوتابی گاما در گندزدایی پساب پرداخته‌اند. رمضانی قرا و عزتی قادی (۱۲)، Tahri و همکاران (۱۳)، Rawat و همکاران (۱۴) و Basfar و Rehim (۱۵) در نتایج تحقیقات خود استفاده از پرتو گاما را روشی موثر در گندزدایی پساب معرفی نموده اند. لیکن مقایسه کارایی دو روش گندزدایی پرتو گاما و اشعه ماورای بنفش، به ویژه در خصوص کارایی آن‌ها در کنترل رشد مجدد، مطالعات معدودی صورت گرفته است. به عنوان مثال Lee و همکاران(۱۱)کارایی گندزدایی و کنترل رشد مجدد میکروارگانیسم در پساب ثانویه فاضلاب با استفاده از UV، ازن و پرتوهای یون‌ساز بررسی نمودند. نتایج نشان داد که پرتوهای یونیزان می‌تواند به عنوان یک روش جایگزین برای فرآیندهای گندزدایی مانند اشعه ماورای بنفش و ازن پیشنهاد شود. از طرفی به دلیل طبیعت متغیر ترکیبات پساب در جوامع مختلف، پارامترهای مختلف مانند نوع گندزدایی، مقدار دز

www.SID.ir

Arch

مصرفی و سایر شرایط بایستی بر اساس منطقه مورد نظر تعیین شوند (۱۳).

با توجه به معایب روش‌های متداول گندزدایی پساب فاضلاب از قبیل مشکلات زیست محیطی، عدم گندزدایی کامل و رشد مجدد بیمارگرها از یک سو و اطلاعات محدود در ارتباط با کارایی روش‌های مختلف گندزدایی بر رشد مجدد ریزجانداران از سوی دیگر، مطالعه حاضر به مقایسه پرتوهای گاما و اشعه ماورای بنفش در رشد مجدد آلودگی زیستی پساب فاضلاب شهری می پردازد.

روش بررسی

نمونه های پساب ثانویه مورد آزمون از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری جنوب تهران در تیر ماه ۱۳۹۶جمع آوری شد. این تصفیه‌خانه با شدت جریانی معادل ۴۵۰۰۰۰ متر مکعب در روز، جمعیتی معادل $۲/۱ \times ۱۰^{۶}$ نفر را پوشش می‌دهد. نوع فرآیند تصفیه فاضلاب از نوع لجن‌فعال همراه با حذف نیتروژن است و پساب تصفیه شده جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی دشت ورامین استفاده می شود (۱۶). فرایند تصفیه پساب در این تصفیه خانه شامل پمپاژ، غربالگری حذف شن، روغن و گریس، ته نشینی اولیه، مخازن هوازی و لجن فعال، ته‌نشینی ثانویه و واحد کلرزنی است. از آن جایی که باقی مانده کلر حتی در مقادیر کم برای آبزیان سمی بوده و دکلراسیون ضروری می-باشد، در نتیجه با توجه به ملاحظات زیست محیطی نیاز به استفاده سایر روش‌های ایمن‌تر گندزدایی پساب است. نمونه-های پساب مورد آزمایش قبل از واحد کلرزنی در ظروف استریل تیره جمع‌آوری شده و برای جلوگیری از تغییر کیفیت در کوتاه‌ترین زمان ممکن و در درجه حرارت پایین (حدود ۴ درجه سانتی گراد) به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

نمونه‌های پساب با استفاده از منبع کبالت-۶۰ (^{60}Co) با دستگاه گاماسل ۲۲۰ در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی تهران (آهنگ دز ۱۲۴ $Gy\ min^{-1}$ و فعالیت ویژه ۸۶۷۷ Ci) در دزهای جذبی ۰/۵، ۱، ۲، ۴ و ۶ kGy (کیلوگری) پرتوتابی شدند. آزمایش درظروف مخصوص یک لیتری در دمای اتاق و در سه تکرار در مجموع با احتساب نمونه شاهد در ۱۸ نمونه صورت پذیرفت.

اشعه ماورای بنفش با استفاده از سه لامپ low-pressure UV-C به طور موازی با طول موج ۲۵۴ نانومتر تأمین و پساب با کمک یک پمپ پیستالتیک با شدت جریان‌های مختلف وارد پایلوت یک لیتری شد. از سه شدت جریان کم، متوسط و زیاد به ترتیب برابر با ۱۰، ۲۰و ۳۰ میلی لیتر در ثانیه استفاده شد. پایلوت توسط مگنت (هم‌زن مغناطیسی) جهت یکنواختی پساب در دریافت اشعه ماورای بنفش هم‌زده می‌شد. شدت جریان پساب جهت ارزیابی کارایی گندزدایی استفاده گردید. پساب به طور پیوسته توسط پمپ پریستالتیک به داخل راکتورها تزریق شد و سرعت جریان به عنوان عاملی جهت ارزیابی گندزدایی بررسی شد. همچنین جهت افزایش کارایی گندزدایی، نمونه ۳ بار با شدت جریان تعیین شده از سیستم عبور داده شد. به عبارت دیگر در نظر گرفته شد که سه لامپ به طور موازی فعالیت می‌کنند. نمونه‌ها (با سه تکرار) در ظروف کاملا استریل شده جمع‌آوری شدند.

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شامل pH، EC، کدورت (Turb)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی(COD)، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD_5)، میزان فسفات کل، نیتروژن کل (T-N)، آمونیوم ($N\text{-}NH_{4}^{+}$) و نیترات ($N\text{-}NO_3$) در پساب ثانویه و پساب تیمار شده اندازه‌گیری شدند. از روش‌های استاندارد تجزیه آب و پساب (۱۷) برای این منظور استفاده شد، شامل COD (روش 5220D)، BOD_5 (روش 5210B)، کدورت (روش 2130 B)، نیتروژن کل (روش 4500)، نیترات (روش 4500 B)، آمونیوم (روش 4500)، فسفات (روش 4500-P E).

کارایی گندزدایی با استفاده از تعیین تعداد کل کلنی‌ها و کلیفرم کل به‌عنوان شاخص عوامل بیماری‌زای باکتریایی در نمونه‌های پساب ثانویه و خروجی هر یک از تیمارها، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از روش شمارش پلیت (plate count method، 9215ب) استفاده شد و نتایج بر حسب CFU/mL گزارش گردید. نمونه‌ها بر روی دو محیط کشت نوتریت آگار و محیط کشت ویولت رد بایل آگار به ترتیب برای

www.SID.ir

Archive of SID

کل کلنی‌ها و کل کلیفرم و در دمای $37\pm0/5\ ^{o}C$ به مدت۲±۴۸ ساعت در تاریکی داخل انکوباتور نگه‌داری شدند و تغییرات روزانه در این مدت انکوباسیون پایش شد و تعداد کلنی‌ها به صورت دستی شمارش شدند. رشد مجدد میکروارگانیسم‌ها در پساب تیمار شده با تابش UV و یک تابش اشعه‌ی گاما با یکدیگر مقایسه گردید. به این صورت نمونه‌های تیمار شده به مدت ۳روز و در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد در شرایط تاریک و دور ۱۰۰rpm، در شیکرانکوباتور نگه‌داری شدند. نمونه‌برداری در روزهای اول و سوم به مقدار یک میلی لیتر از پساب تیمار شده صورت گرفت و رشد مجدد کل کلنی‌ها و باکتری کلیفرم کل تعیین گردید. آزمون در سه تکرار صورت پذیرفت. نتایج حاصل به کمک نرم افزارSPSS به طور توصیفی و تحلیلی مورد ارزیابی قرار گرفت. از آزمون دانکن ($p\text{-}value < ۰/۰۵$) جهت بررسی اختلاف معنی‌دار در میانگین تیمارهای مختلف استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزارهای Excel و Sigma Plot استفاده شد.

یافته ها

کدورت و کل مواد جامد پساب ثانویه به ترتیب برابر با ۰/۳۳ NTU و ۱۲ mg/l بود و pH و هدایت الکتریکی آن به ترتیب برابر با ۷/۲ و ۰/۸۸ ds/m بود. نتایج آزمون خصوصیات شیمیایی پساب ثانویه قبل از گندزدایی و تیمار شده در جدول شماره (۱)، آورده شده است.

۱. کارایی گندزدایی به روش گاما

نمونه‌های پساب در دزهای مختلف ۰/۵، ۱، ۲، ۴ و ۶ kGy (کیلوگری) در سه تکرار پرتوتابی شدند. کارایی گندزدایی براساس سنجش تعداد کلنی‌های کل و کلیفرم کل در نمونه‌های پساب ثانویه و پس از تیمار پرتو گاما، ارزیابی گردید و برحسب CFU/ml گزارش شد (شکل ۱ و ۲). همان طور که در شکل ۱ آورده شده است با افزایش دز پرتو گاما جمعیت میکروبی در زمان صفر کاهش یافته است. با گذشت زمان جمعیت میکروبی روند افزایشی داشته است، هر چند این افزایش در تیمار شاهد و دز ۰/۵کیلوگری به طور معنی‌داری بیشتر از سایر دزها بوده است. کارایی گندزدایی در زمان صفر برای تعداد کلنی کل در دز ۲ کیلوگری برابر با ۹۸/۲ درصد می‌باشد.

همان طور که در شکل ۲ آورده شده است در زمان صفر کمترین دز پرتو گاما مورد آزمون یعنی ۰/۵کیلوگری جمعیت کلیفرم کل به صفر نزدیک شده است. با گذشت زمان یک روز در دزهای ۰/۵و ۱کیلوگری کلیفرم رشد داشته است و از روز سوم در دز ۲ کیلوگری نیز رشد مجدد مشاهده شده است. لیکن در دزهای ۴ و ۶ کیلوگری رشد کلیفرم مشاهده نشد. بنابراین در دز ۴ کیلوگری برای گندزدایی پساب شهری مورد آزمایش مناسب می‌باشد. در کل می‌توان اظهار داشت که رشد مجدد میکروبی به طور قابل ملاحظه‌ای با استفاده از پرتو گاما کنترل گردید. هر چند کارایی گندزدایی کلیفرم کل در زمان صفر در دز ۰/۵کیلوگری ۱۰۰ درصد است، لیکن با در نظر گرفتن رشد مجدد کلیفرم کل کارایی گندزدایی در دز ۴ کیلوگری برابر با ۱۰۰ درصد خواهد بود. که لزوم برررسی رشد مجدد میکروارگانیسم‌ها در پساب را تعیین دز بهینه پرتوتابی نمایان می‌سازد.

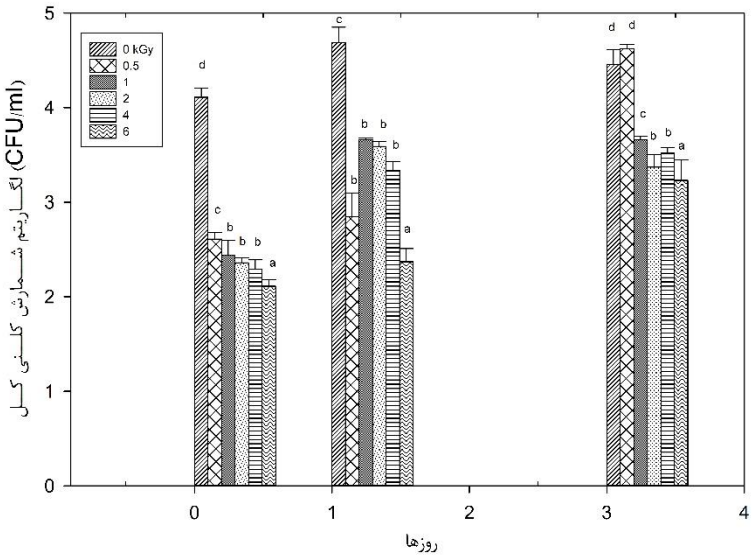
www.SID.ir

جدول ۱- خصوصیات کیفی پساب ثانویه و تیمار شده

Table 1. Qualitative characteristics of secondary and treated sewage effluent

پارامتر (mg/l)	قبل از گندزدایی	اشعه ماورای بنفش	گاما
COD	400.13^{c} ±0.76	26.03^{b} ±0.95	14.16^{a*}±0.87
BOD	259.67^{c} ±0.15	16.77^{b} ±0.55	8.13^{a} ±0.41
نیتروژن کل	26.16^{c} ±0.76	14.83^{b} ±0.76	7.76^{a} ±0.68
نیترات	23.30^{c} ±0.17	13.47^{b} ±0.16	7.06^{a} ±0.20
آمونیوم	0.5^{b} ±0.08	0.5^{b} ±0.01	0.38^{a} ±0.03
فسفات کل	3.22^{b} ±0.11	3.20^{b} ±0.08	2.46^{a} ±0.06

*حروف نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در سطح احتمال ۰۵/۰ درصد در هر سطر است

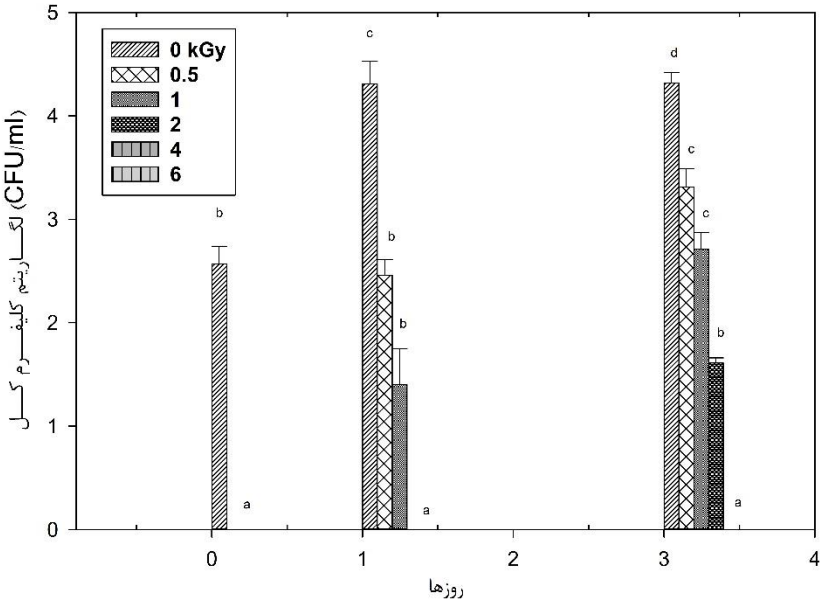


شکل ۱- لگاریتم میانگین شمارش کلنی کل و مقدار انحراف معیار در دزهای مختلف پرتو گاما و رشد مجدد آن‌ها در روزهای مختلف (حروف مختلف در هر روز نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است)

Figure 1. The logarithm of mean of total colony count and the standard deviation in different gamma radiation doses and their re-growth in different days (Different letters in a day show significant difference at $p \leq 0.05$ by Duncan test)

www.SID.ir

Archive of SID



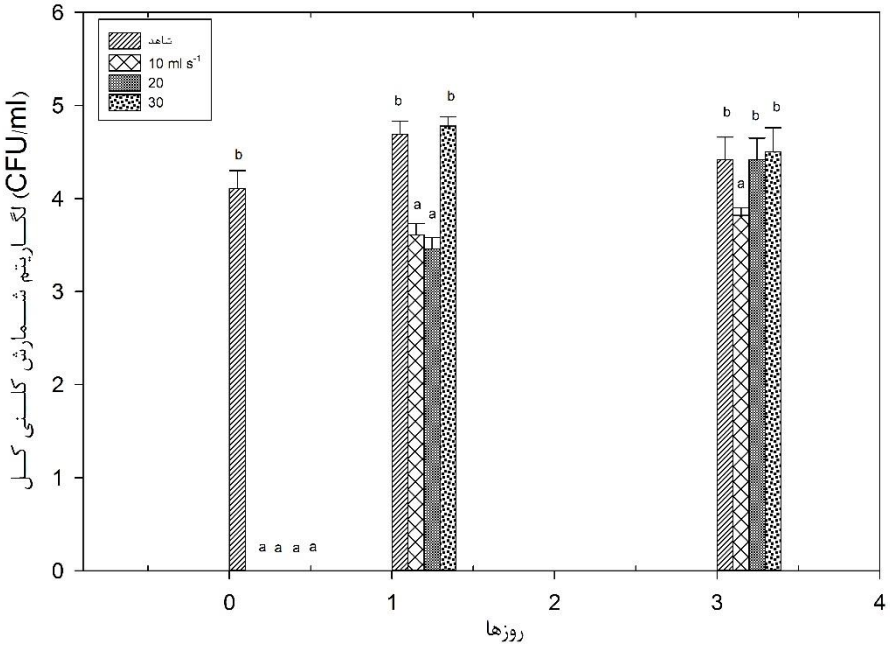
شکل ۲- لگاریتم میانگین شمارش کلیفرم کل و مقدار انحراف معیار در دزهای مختلف پرتو گاما و رشد مجدد آن‌ها در روزهای مختلف (حروف مختلف در هر روز نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است)

Figure 2. The logarithm of the mean of total Coliform and the standard deviation in different gamma radiating doses and their re-growth in different days (Different letters in a day show significant difference at $p \leq 0.05$ by Duncan test)

۲. کارایی گندزدایی به روش ماورای بنفش

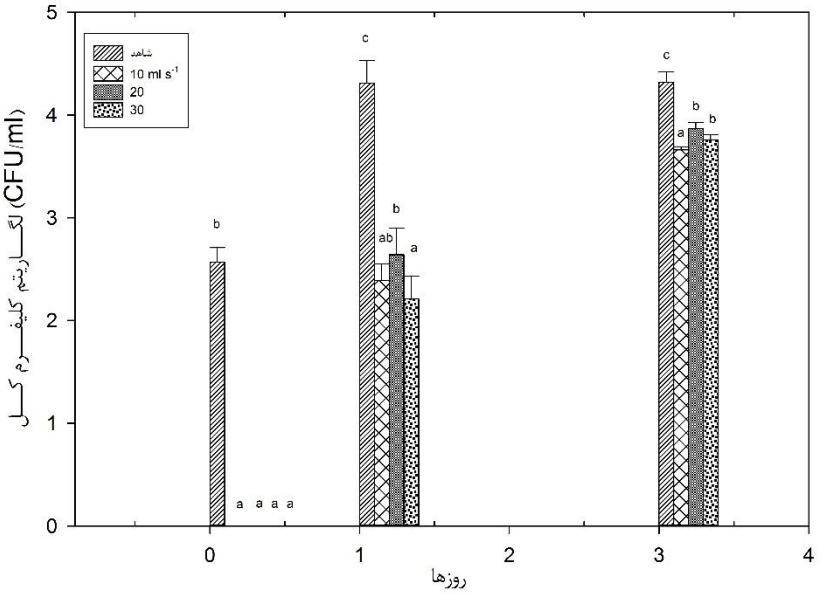
پساب فاضلاب شهری مورد تابش اشعه ماورای بنفش توسط سه لامپ Low pressure UV-C در طول موج ۲۵۴ نانومتر قرار گرفت. هر بار نمونه ها (با سه تکرار) در ظروف کاملا استریل شده جمع آوری گردید. بعد از اتمام کار نمونه‌ها جهت کشت میکروبی و تعیین مجدد COD، BOD، فسفات کل و نیتروژن کل پس از تیمار مورد تحقیق و مطالعه قرار گرفت. اثر شدت جریان (شکل ۳) در کنترل رشد میکروارگانیسمها و رشد مجدد تعداد کل کلنی ها بررسی شد. در شروع آزمایش (در زمان صفر) در شدت جریان کم، بیشترین کارایی گندزدایی وجود داشته است. لیکن با گذشت زمان (در روزهای اول و سوم آزمایش) شدت جریان تاثیر معنی داری در کنترل رشد مجدد کلیفرم کل نداشته است. روند کلی شدت جریان ورودی در شکل ۴ نمایش داده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می شود در زمان شروع آزمایش در شدت جریان کم بیشترین کارایی گندزدایی وجود داشته است. در کل با گذشت سه روز در همه شدت جریان ها جمعیت کلیفرم کل از تعداد مجاز بیشتر بود.

www.SID.ir



شکل ۳- بررسی اثر شدت جریان بر لگاریتم شمارش کلنی کل در تیمار اشعه ماورای بنفش (حروف مختلف در هر روز نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است)

Figure 3. Effect of flow rate on logarithm of total colony count in UV radiation treatment days (Different letters in a day show significant difference at $p \leq 0.05$ by Duncan test)



شکل ۴- بررسی اثر شدت جریان بر لگاریتم شمارش کلیفرم کل در تیمار اشعه ماورای بنفش (حروف مختلف در هر روز نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است)

Figure 4. Evaluating the effect of flow rate on logarithm of total Coliform count in UV radiation treatment days (Different letters in a day show significant difference at $p \leq 0.05$ by Duncan test)

www.SID.ir

Archive of SID

بحث و نتیجه‌گیری

همان طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود مقادیر BOD، COD و نیتروژن کل در پساب ثانویه به‌طور قابل ملاحظه ای در تیمارهای اشعه ماورای بنفش و پرتو گاما کاهش یافتند، که این کاهش به طور معنی‌داری در روش پرتو گاما بیشتر بوده است. درصد کاهش مقادیر COD،BOD و نیتروژن کل نسبت به پساب ثانویه برای روش گاما به ترتیب حدود ۹۷، ۹۶/۵ و ۶۹ درصد و برای روش ماورای بنفش به ترتیب ۴۲، ۹۳ و ۹۳/۵ درصد بود. این کاهش را می توان ناشی از معدنی شدن عناصر با قابلیت اکسید شدن ناشی از پرتوتابی تشریح کرد. که نتایج این تحقیق در خصوص تاثیر پرتوهای یونیزان بر کاهش BOD و COD با نتایج سایر محققان (۸ و ۱۸-۲۱) همخوانی دارد. همچنین با افزایش دز جذبی پرتوگاما BOD_5 و COD به طور معنی‌دار کاهش می‌یابند (۱۸). زمانی‌که پساب در معرض تابش گاما قرار می‌گیرد، مولکولهای آب تحت فرآیند هیدرولیز یونیزه شده و الکترون‌های آزاد تولید می‌کنند. واکنش بین آلاینده‌ها و محصولات اولیه هیدرولیز آب ($OH^{\cdot}$, e_{aq}^{-}, $H^{\cdot}$) و همچنین گونه‌های ثانویه با عمر کوتاه که از آلاینده‌ها تشکیل شده‌اند، منجر به حذف آلاینده‌ها از فاضلاب می‌شوند (۲۲ و ۲۳). پرتو گاما منجر به کاهش معنیدار نیترات در پساب شد که می‌تواند ناشی از واکنش‌های کاهشی که منجر به تولید N_2 و N_2O می شود، باشد (۲۴). هر چند در WHO (۲۵) و FAO (۲۶) هیچ دستورالعمل روشنی برای مقادیر BOD_5و COD برای مصارف کشاورزی توصیه نشده است، لیکن BOD_5 در USEPA (۲۷) برای استفاده مجدد از پساب جهت تولید محصولات کشاورزی کمتر از ۱۰ میلی گرم لیتر ذکر شده است. همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، این استاندارد برای استفاده مجدد از پساب در فعالیت های کشاورزی در تیمار گاما به دست آمده است. تیمار گاما موجب کاهش مقادیر نیتروژن کل، BOD و COD پساب فاضلاب شهری شد. علاوه بر این، گزارش شده است که پرتوتابی فاضلاب می‌تواند منجر به اکسیداسیون مولکول های آلی و اختلال در ساختار مولکول های آلی و غیر آلی شود و بنابراین منجر به تغییراتی در برخی خواص فیزیکی و شیمیایی از قبیل COD، BOD (۲۸ و ۲۹)، کدورت (۱۸) و قابلیت دسترسی مواد مغذی پرمصرف و کم مصرف شود (۷). از آن جا که مواد شیمیایی آلی موجود در پساب برای موجودات آبزی خطرناک هست، بدون توجه به نوع گندزدایی توصیه می‌شود COD قبل از گندزدایی کنترل شود. برای این منظور می‌توان از فرآیندهای اکسیداسیون شمیایی نیز استفاده نمود (۱۳).

همان طورکه اشاره شد جمعیت کلنی کل قبل و بعد هر تیمار بررسی شد. در خصوص جمعیت کلنی کل در تیمار پرتو گاما، همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در زمان صفر با افزایش دز پرتو گاما جمعیت میکروبی به طور معنی داری کاهش یافته است. لیکن با گذشت زمان جمعیت میکروبی روند افزایشی داشته است، هر چند این افزایش در تیمار شاهد و دز ۰/۵ کیلوگری به طور معنی‌داری بیشتر از سایر دزها بوده است. همان طورکه در شکل ۳ مشاهده می‌شود اشعه ماورای بنفش درشروع آزمایش منجر به کاهش معنی دار جمعیت میکروبی شده لیکن با گذشت زمان میکروارگانسیم‌ها در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد و ۱۰۰ دور در دقیقه در همه شدت جریان ها رشد نموده است و فقط در شدت جریان کم توانسته است تا حدودی جمعیت کل کلنی‌ها را کنترل نماید. این احتمال وجود دارد که میکروارگانیسم‌ها پس از تخریب بازسازی شده و رشد میکروبی صورت گرفته باشد.

همچنین کلیفرم کل به عنوان شاخص عوامل بیماری‌زای باکتریایی تعیین گردید. در نقاط مختلف جهان، استانداردها و دستورالعمل های مختلفی برای استفاده ایمن پساب در کشاورزی پیشنهاد شده است (۲۵، ۲۷ و ۳۰). کیفیت استفاده از پساب فاضلاب برای آبیاری توصیه شده توسط FAO و WHO و استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران، به‌صورت یک دستورالعمل باکتریایی ≥ ۱۰۰۰ کلیفرم کل در هر ۱۰۰ میلی لیتر فاضلاب مشخص شده است. در روش گاما کاهش بار کلی‌فرم کل به سطح قابل قبول طبق دستورالعمل‌های WHO (1989)(۲۵) و USEPA (1993) (۲۷) در

www.SID.ir

Arch

دز ۰/۵ kGy پرتو گاما به دست آمد (شکل ۲). لیکن به دلیل رشد مجدد باکتریایی، غیرفعال سازی کامل و بدون رشد مجدد کلیفرم کل در دز ۴ کیلوگری پرتو گاما حاصل شد (شکل ۲). در پرتوتابی گاما در دز ۰/۵ کیلوگری مقدار کلیفرم کل در پساب ثانویه به صفر کاهش یافت. یک مشکل عمده در ارتباط با فرآیند گندزدایی این است که میکروارگانیسم‌ها می‌توانند پس از تخریب بازسازی شده و در نتیجه رشد مجدد زیاد میکروبی رخ دهد. در این تحقیق غیر فعال‌سازی کامل و بدون رشد مجدد این جانداران در پساب در دز ۴ کیلوگری حاصل شد. به ویژه در رشد مجدد میکروبی روش پرتوتابی گاما قابلیت زیادی در کنترل رشد کلیفرم کل داشت، به طوری‌که در دز ۴ کیلوگری توانست جمعیت آن را در کمتر از مقدار مجاز نگه دارد. که تقریبا با نتایج Tahri و همکاران (۱۳) و Basfar و Rehim(۱۵) همخوانی دارد. Tahri و همکاران (۱۳) گزارش نمودند که غیرفعال سازی کلیفرم مدفوعی بدون رشد مجدد در پساب ثانویه و اولیه به ترتیب در دزهای ۱/۵ و ۲ صورت گرفته، لیکن این محققان با در نظر گرفتن کلیه عوامل (خصوصیات فیزیکی به ویژه COD) جهت استفاده مجدد پساب در مصارف کشاورزی، دز ۶ kGy برای پساب ثانویه در کشور مراکش توصیه نمودند. از آن جا که کارایی گندزدایی پرتوهای یونیزان می‌تواند توسط پارامترهای فیزیکی مانند ذرات معلق تحت تاثیر قرار گیرد، این ذرات می‌توانند از میکروارگانیسم‌ها در برابر تابش مستقیم حفاظت نموده و مقدار غیر فعال‌سازی را کاهش دهند (۱۱)، بنابراین دز توصیه شده در شرایط مختلف می‌تواند تا حدودی متغیر باشد.

تیمار دیگر مورد استفاده اشعه ماورای بنفش بود. باکتری ها، پروتوزواها و ویروس‌ها به تابش UV-C به ویژه در طول موج ۲۵۴ nm حساس هستند. در نقاط مختلف جهان حدود ۹۰ درصد اشعه ماورای بنفش تولید شده برای گندزدایی پساب در طول موج ۲۵۴ nm است (۳۱). اشعه ماورای بنفش در شروع آزمایش توانست تعداد کلیفرم کل را به کمتر از حد مجاز برساند. لیکن با گذشت زمان (در روزهای اول و سوم آزمایش) کلیفرم کل رشد قابل توجهی داشت. به عبارت دیگر با گذشت سه روز در همه شدت جریان ها جمعیت کلیفرم کل بیشتر از تعداد مجاز بود. در کل می توان گفت این روش فقط توانست جمعیت کلیفرم کل را تا حدودی کنترل کند. یکی از مشکلات اساسی این روش، رشد مجدد میکروارگانیسم‌ها می باشد (۱۱ و ۳۱- ۳۳). Gong (۳۵) رشد مجدد کلیفرم مدفوعی (FC) و تعداد کل باکتری را در چهار تصفیه خانه پساب آمریکا مطالعه کرد. در سه تصفیه خانه رشد سریع FC و نسبت FC به تعداد کل باکتری بعد از ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از تابش UV، در مقایسه با تعداد آن‌ها بلافاصله بعد از گندزدایی، مشاهده شد. هر چند، شدت رشد مجدد پس از ۷۲ تا ۱۴۴ ساعت به تدریج کاهش یافت. Lindenauer و Darby (۳۱) یک همبستگی منفی بین دز UV و مقدار بازسازی نوری باکتری‌ها مشاهده نمودند و نتیجه گرفتند که رشد مجدد یک پدیده ناخواسته است که بایستی در طراحی تصفیه‌خانه‌ها در نظر گرفته شود. Abou-Elela و همکاران (۳۶) از لامپ کم فشار ماورای بنفش برای گندزدایی پساب استفاده نمودند و اعلام نمودند که حذف کلیفرم کل نسبت به سایر میکروارگانیسم ها مانند کلیفرم مدفوعی، سودوموناس و استافیلوکوکوس نیاز به دز بالاتری دارد. لیکن گندزدایی اغلب به دلیل وجود میکروارگانیسم‌های متصل به ذرات محدود می شود (۳۷). امین و همکاران (۳۸) سه سیستم تصفیه فاضلاب شهری شامل لامپ فشار کم و متوسط، شفاف سازی به همراه لامپ فشار کم و متوسط و فیلتراسیون تحت فشار شن به همراه لامپ فشار متوسط و کم را در مقیاس پایلوت مقایسه نمودند. بهترین سیستم تصفیه فاضلاب شهری را فیلتراسیون تحت فشار شن و لامپ فشار متوسط معرفی نمودند و به اهمیت عملیات قبل از گندزدایی در افزایش کارایی گندزدایی اشاره نمودند. لازم به ذکر است که با توجه به هدف مطالعه اخیر که مقایسه دو روش بود از تیمارهای فیلتراسیون و ... جهت کاهش جامدات معلق استفاده نشد. همچنین از آنجایی که مصرف برق لامپ های فشار پایین UV کمتر از لامپهای با فشار متوسط است (۳۲)، از لامپ های فشار پایین در این تحقیق استفاده شد. به طورکلی UV روش گندزدایی کننده مؤثر برای طیف وسیعی از جانداران بیماری‌زا بوده، اما برای عملی شدن از لحاظ اقتصادی و فنی به پساب با کیفیت ثانویه نیاز دارد (۳۹). به طوری‌که

www.SID.ir

Archive of SID

روش پرتوهای غیریون‌ساز UV نه تنها به عوامل محیطی مانند مقدار جامدات معلق، BOD، COD، اکسیژن محلول، دما، pH و ...وابسته هستند بلکه تخریب DNA با استفاده از UV می‌تواند بازسازی شود (۳۱). از معایب دیگر UV در مقایسه با پرتوهای یون‌ساز می‌توان به محدودیت استفاده از آن صرفاً برای گندزدایی پساب ثانویه، امکان رشد مجدد ریزجانداران غیرفعال شده با آن و تغییرات فصلی بازده گندزدایی اشاره نمود (شکل ۴).

در کل گندزدایی پرتوUV موقتی بوده و ریزجانداران غیرفعال شده باUV توانایی بازسازی DNA و رشد مجدد با ساز وکارهای بازسازی مجدد در تاریکی داشتند که با نتایج Lee و همکاران (۱۱) همخوانی دارد. از این رو رشد مجدد کلیفرم کل پس از گندزدایی با UV یک معضل نگران کننده در تصفیه-خانه‌ها است که وجود بقایای آلی در پساب تصفیه شده این امر را تشدید می‌کند. همچنین افزایش زمان نگه‌داری و دما منجر به افزایش سرعت رشد مجدد می شود. علاوه بر این در منابع نیز به لزوم استفاده از واحدهای پیش تصفیه زلال‌سازی و فیلتراسیون قبل از استفاده از پرتو UV اشاره شده است. روش پرتو گاما کارایی بالایی را در گندزدایی و کنترل رشد مجدد میکروبی از خود نشان داد که این نیز با نتایج Lee و همکاران (۱۱) و Tahri و همکاران (۱۳) تطابق دارد. به ویژه در کنترل رشد مجدد میکروبی روش UV نتوانست جمعیت کلیفرم کل را به کمتر از حد مجاز برساند. تابش گاما یک فرآیند فیزیکی بدون افزودن مواد شیمیایی برای غیرفعال کردن میکروارگانیسم (۴۰ و ۴۱) است که بر ماتریس فاضلاب (۴۲) و محیط زیست (۱۳) تأثیر نگذاشته و هیچ محصول جانبی سرطان زایی (carcinogenic by-products) تولید نکرده (۶)، و هیچ گونه رشد مجدد میکروارگانیسم ها پس از فرایندهای گندزدایی (۱۱) در مقایسه با ضدعفونی کننده های معمولی فاضلاب مانند کلراسیون، ازن و UV در فاضلاب رخ نمی‌دهد.

Reference

1. Shayegan, J., Afshari A., 2004. The Treatment Situation of Municipal and Industrial Wastewater in Iran. Journal of Water and Wastewater, Vol. 15, pp. 58-69. (In Persian)
2. Kahforooshan, D., Adeli S., 2014. Effects of untreated industrial wastewater on Rapeseed irrigation. Journal of Water recycling, Vol. 1, pp. 37-45. (In Persian)
3. Parsafar, N., Marofi S., Rahimi Gh., Marofi, H., 2015. Assessment of Pollution Index (PI) of Cd, Zn, Cu and Pb in the Soil Irrigated with Municipal Wastewater. Journal of Water and Soil Science, Vol. 25, pp. 1-12 (In Persian).
4. Abedi-Koupai, J., Javahery Tehrani, M., Behfarnia, K., 2015. Improvement the Quality of Wastewater using Porous Concrete for Irrigation. Journal of Soil and Water Sciences, Vol. 19, pp. 93-107. (In Persian)
5. Farooq, S., Kurucz, C.N., Waite, T.D. Cooper, W.J. 1993. Disinfection of wastewaters: high-energy electron vs gamma irradiation. Water Research, Vol. 27, pp. 1177-1184.
6. Chu, L., Wang, J., Wang, B., 2010. Effects of aeration on gamma irradiation of sewage sludge. Radiation Physics and Chemistry. Vol. 79, pp. 912-914.
7. Rathod, P.H., Patel, J. C., Shah, M. R., Jhala, A. J., 2009. Recycling gamma irradiated sewage sludge as fertilizer: A case study using onion (Alium cepa). applied soil ecology, Vol. 41, pp. 223-233.
8. Tahri, L., Elgarrouj, D., Zantar, S., Mouhib, M., Azmani, A., Sayah, F., 2010.Wastewater treatment using gamma irradiation: Tétouan pilot station, Morocco. Radiation Physics and Chemistry, Vol. 79, pp. 424-428.
9. Chmielewski, A., 2007. Practical applications of radiation chemistry.

www.SID.ir

Russian Journal of Physical Chemistry A, Focus on Chemistry, Vol. 81, pp. 1488-1492.

10. El-Motaium, R., 2006. Application of nuclear techniques in environmental studies and pollution control. Proceedings of the 2nd Environmental Physics Conference, Alexandria, Egypt, pp. 169-182.
11. Lee, O.M., Kim, H.Y., Park, W., Kim, T.H. and Yu, S. 2015. A comparative study of disinfection efficiency and regrowth control of microorganism in secondary wastewater effluent using UV, ozone, and ionizing irradiation process. Journal of hazardous materials, Vol. 295, pp. 201-208.
12. Ramezani Ggara, A., Ezati Ghadi, F., 2015. Investigating the effect of gamma rays on the disinfection of urban wastewater from Sari for agricultural use, The first national conference on the role of minerals and vitamins in nutrition and human health, livestock, poultry and aquatic animals, Jiroft University of Medical Science. (In Persian)
13. Tahri, L., Elgarrouj, D., Zantar, S., Mouhib, M., Azmani, A., Sayah, F. 2010. Wastewater treatment using gamma irradiation: Tétouan pilot station, Morocco. Radiation Physics and Chemistry, Vol. 79, pp. 424-428.
14. Rawat, K., Sharma, A.,Rao, S. 1998. Microbiological and physicochemical analysis of radiation disinfected municipal sewage. Water Research, Vol. 32, pp. 737-740.
15. Basfar, A. and Rehim, F.A. 2002. Disinfection of wastewater from a Riyadh Wastewater Treatment Plant with ionizing radiation. Radiation Physics and Chemistry, Vol. 65(4), pp. 527-532.
16. Shaeri, A.M., Rahmati, A. Rules, regulations, standards and standards of the human environment, sewage outlet standard. First Edition. Hak Publications. 2012. P. 275. (In Persian)
17. APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition. American Public Health Association. American Water Works Association and Water Environmental Federation. Washington DC.
18. Parvin, F., Ferdaus, Z., Tareq, S. M., Choudhury, T. R., Islam, J. M., Khan, M. A., 2015. Effect of gamma-irradiated textile effluent on plant growth, International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, Vol. 4, pp. 23-30.
19. Duarte, C.L., Sampa, M.H.O., Rela, P.R., Oikawa, H., Cherbakian, E.H., Sena, H.C., Abe, H., Sciani, V., 2000. Application of electron beam irradiation combined to conventional treatment to treat industrial effluents. Radiataion Physics and Chemistry, Vol. 57, pp.513–518.
20. Tchobanoglous, G., Schroeder, E.D., 1985. Water quality: characteristics, modeling and modification. Addison-Wesley Publishing Company, Canada.
21. Basfar, A., Rehim, F. A., 2002. Disinfection of wastewater from a Riyadh Wastewater Treatment Plant with ionizing radiation. Radiation Physics and Chemistry, Vol. 65, pp. 527-532.
22. Anbar, M., Neta, P., 1967. Radiation chemical destruction of phenol in oxygenated aqueous solutions. Intnational Journal of Applied Radiation Isototope, Vol. 18, pp.493.
23. Buxton, G.V., Greenstock, C.L., Helman, W,P., Ross, A.B., 1988.

www.SID.ir

Archive of SID

Critical review of rate constants for reactions of hydrated electrons, hydrogen atoms and hydroxyl radicals in aqueous solution. Journal of Physics and Chemistry Reference Data , Vol. 17(2), pp.513–886

24. Chu, L., Wang, J., Wang, B., 2011. Effect of gamma irradiation on activities and physicochemical characteristics of sewage sludge. Biochemical engineering journal, Vol. 54, pp. 34-39.
25. World Health Organization (WHO), 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. WHO technical report series, p. 778.
26. FAO, 1992. Wastewater treatment and use in agriculture.M.B. Pescod. FAO Irrigation and Drainage Paper 47, FAO, Rome.
27. USEPA, 2012. Guidelines for water reuse, EPA/600/R-12/618. Information in: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=253411.
28. Madureira, J., Pimenta, A. I., Popescu, L., Besleaga, A., Dias, M. I., Santos, P. M., Melo, R., Ferreira, I. C., Verde, S. C., Margaça, F. M., 2017. Effects of gamma radiation on cork wastewater: Antioxidant activity and toxicity. Chemosphere. Vol. 169, pp. 139-145.
29. Rathod, P. H., Patel, J. C., Jhala, A.J., 2011. Potential of gamma irradiated sewage sludge as fertilizer in radish: evaluating heavy-metal accumulation in sandy loam soil.Communications in soil science and plant analysis,Vol.42, pp. 263-282.
30. Javier, M., Prit, S., 2012. Global database on municipal wastewater production, collection, treatment, discharge and direct use in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Information in: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm.
31. Lindenauer, K.G., Darby, J.L., 1994. Ultraviolet Disinfection of Wastewater: Effect of Dose on Subsequent Photoreactivation. Water Rescores, Vol. 28(4), pp.805-812.
32. Gibson, J., Drake, J., Karney, B., 2017. UV Disinfection of Wastewater and Combined Sewer Overflows. In Ultraviolet Light in Human Health, Diseases and Environment, pp. 267-275.
33. Drescher, A., 1999. Reactivation of UV-Disabled Microbes. World Health International Internal Publication, Irvine, CA.
34. Basu, S., Page, J., Wei, I., 2007. UV disinfection of treated wastewater effluent: influence of color, reactivation and regrowth of coliform bacteria. Environmental Engineer: Applied Research and Practice, Vol. 4, pp. 1-8.
35. Gong, W.-L., 2002. Long-term Effects of Disinfection on Wastewater Effluents. Ph.D. Dissertation, Purdue University, West Lafayette, IN.
36. Abou-Elela, S.I., El-Sayed, M.M.H., El-Gendy, A.S.,Abou-Taleb, E.M., 2012. Comparative study of disinfection of secondary treated wastewater using chlorine, UV and ozone. Journal of Applied Sciences Research, Vol. 8(10), pp.5190-5197.
37. Chahal, C., van den Akker, B., Young, F., Franco, C., Blackbeard, J., Monis, P., 2016. Pathogen and Particle Associations in Wastewater: Significance and Implications for

www.SID.ir

Treatment and Disinfection Processes. In Advances in applied microbiology, Vol. 97, pp. 63-119.

38. Amin, M.M., Hashemi, H., Bina, B., Attar, H.M., Farrokhzadeh, H. and Ghasemian, M., 2010. Pilot-scale studies of combined clarification, filtration, and ultraviolet radiation systems for disinfection of secondary municipal wastewater effluent. Desalination, Vol. 260(1-3), pp.70-78.
39. Rudd, T., Hopkinson, L., 1989. Comparison of disinfection techniques for sewage and sewage effluents. Water and Environment Journal, Vol. 3, pp. 612-618.
40. Verde, S. C., Silva, T., Matos, P., 2016. Effects of gamma radiation on wastewater microbiota, Radiation and environmental biophysics, Vol. 55, pp. 125-131.
41. Gautam, S., Shah, M.R., Sabharwal, S. and Sharma, A., 2005. Gamma irradiation of municipal sludge for safe disposal and agricultural use. Water environment research, Vol. 77(5), pp.472-479.
42. Han, B., Kim, J. K., Kim, Y., Choi, J. S., Jeong, K. Y., 2012. Operation of industrial-scale electron beam wastewater treatment plant. Radiation Physics and Chemistry, Vol. 81, pp. 1475-1478.

www.SID.ir