کارایی پرتوهای فرابنفش در کاهش بار میکربی تصفیه‌خانه فاضلاب شهید محلاتی تهران

رضا دباغ[1]

(دریافت ۸۶/۱۲/٤ پذیرش ۸۷/۱۱/۲۹)

چکیده

در این پژوهش، تصفیه‌خانه فاضلاب شهید محلاتی تهران به‌عنوان نمونه به منظور استقرار سامانه گندزدایی فاضلاب با پرتوهای فرابنفش با استفاده از لامپ‌های کم فشار بخار جیوه انتخاب شد. هدف از این پژوهش بررسی کارایی روش مزبور برای گندزدایی فاضلاب تصفیه‌خانه‌های ایران بود. نتایج به‌دست آمده، عملکرد بسیار مطلوب سامانه مورد نظر را در شرایط مختلف بهره‌برداری تصفیه‌خانه نشان می‌دهد. بهره‌برداری در مدت شش ماه صورت گرفت و نمونه‌برداری‌ها در ماههای مختلف که در برگیرنده فصول گرم و سرد سال بود، انجام شد. بیشینه ظرفیت گندزدایی سامانه با پرتوهای فرابنفش ، برابر با ١٤/٤ مترمکعب در ساعت، دامنه تغییرات کدورت بین ۹ تا ۳۲ واحد NTU و بیشترین تراکم باکتریایی در جریان ورودی به سامانه در دوره بهره‌برداری $5/6\times10^{7}$ بود. حداقل دز پرتوهای فرابنفش برابر با ٤۰۰۰۰ میکروواوت در ثانیه بر سانتی‌متر مربع بود. بهره‌برداری از سامانه در شرایط مختلف، نشان داد که به کمک پرتوهای فرابنفش، بار میکربی از چهار تا شش لگاریتم یا ۹۹/۹۹ تا ۹۹/۹۹۹۹ درصد بر حسب مجموع کلیفرم‌ها یا کلیفرم‌های مدفوعی کاهش می‌یابد. در این شرایط، شاخص آلودگی میکربی برای تخلیه پساب در آبهای پذیرنده و یا برای استفاده مجدد پساب در کشاورزی به کمتر از حد استاندارد مورد نظر می‌رسد. لازم به ذکر است که استانداردهای زیست‌محیطی ایران برای تخلیه پساب در آبهای پذیرنده یا کشاورزی بر حسب مجموع کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های مدفوعی به ترتیب برابر با ۱۰۰۰MPN/100mL و ٤۰۰MPN/100mL است.

واژه‌های کلیدی: پرتوهای فرابنفش، گندزدایی، کلیفرم، فاضلاب، تصفیه‌خانه شهید محلاتی.

Microbial Removal Efficiency of UV in Tehran Shahid Mahallati Wastewater Treatment Plant

Reza Dabbagh [1]

(Received Feb. 22, 2008 Accepted Feb. 17, 2009)

Abstract

Shahid Mahallati Wastewater Treatment Plant was selected for installing a UV disinfection unit to investigate its germicidal effect on microbial removal. Low pressure mercury lamps were used to generate germicidal ultraviolet radiation (UV-C). The UV system was operated over a period of 6 months that included both warm and cold seasons. A maximum UV disinfection efficiency of 14.4m^3/h was recorded for the system on the basis of design criteria within turbidity ranges of 9 to 32 NTU. The minimum UV dose applied in the UV unit was 40000 μW.s/cm^2 and the highest bacterial density in the UV unit influent was $5.6*10^7$. Effluent total coliform or fecal coliform enumeration after exposure to UV ray showed the microbial density decreasing from four logs, or 99.99%, to as high as six logs, or 99.9999% removal efficiency, under different conditions. Effluent microbial densities in terms of total and fecal coliforms were below 1000MPN/100mL and 400MPN/100mL, respectively. These values comply with wastewater discharge or agricultural irrigation standards according to Iran Department of Environment. From our results, it is concluded that UV disinfection may be an effective technique for wastewater disinfection in Iranian wastewater treatment plants.

Keywords: Ultraviolet, Disinfection, Coliform, Wastewater Treatment Plant, Shahid Mahallati.

۱- استادیار پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده علوم هسته‌ای، ۸۲۰۶۳٤۲۳(۰۲۱)
rdabbagh@aeoi.org.ir

1. Assistant Professor, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), (+98 21) 82063423, rdabbagh@aeoi.org.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

به منظور گندزدایی آب و فاضلاب، علاوه بر استفاده از کلر و ازن، استفاده از پرتوهای فرابنفش نیز راهکار مناسبی است [۱ و ۲]. تأثیر نور خورشید در غیر فعال‌سازی میکروب‌های بیماری‌زا برای اولین‌بار از سوی داونز[1] و بلونت[2] در سال ۱۸۷۸ میلادی مشخص گردید. برنارد[3]، مورگان[4] و بانگ[5] تأثیر نور خورشید را در گندزدایی نمونه‌ای از آب که به‌صورت مصنوعی آلوده شده بود، نشان دادند. اولین سیستم گندزدایی آب در مقیاس بزرگ در سال ۱۹۱۰ میلادی در مارسی فرانسه راه‌اندازی شد [۳]. در سال ۱۹۷۵ میلادی نیز استفاده از پرتوهای فرابنفش به‌منظور گندزدایی فاضلاب تصفیه شده در آمریکا و کانادا پیشنهاد گردید. در حال حاضر نیز در بسیاری از کشورهای جهان از این روش به سهولت برای گندزدایی آب و فاضلاب و یا سایر کاربردها استفاده می‌شود. در پایلوتی واقع در شهر برلین که برای بررسی تأثیر پرتوهای فرابنفش در کاهش باکتری‌ها و کلی‌فاژهای فاضلاب تصفیه شده راه‌اندازی شده بود کاهش یک تا چهار لگاریتمی در باکتری‌ها و کلی‌فاژهای مورد نظر ملاحظه شد[۴]. در تحقیقاتی مشابه، کاهش ویروس‌ها تا سه لگاریتم و کاهش پنج لگاریتمی برای E.Coli و حتی تا مقدار غیر قابل شمارش برای باکتری‌های شاخص آلودگی در فاضلاب به‌کمک پرتوهای فرابنفش در دزهای ۲۰۰۰۰ تا ۸۰۰۰۰ میکروواط در ثانیه بر سانتی‌مترمربع گزارش شده است [۵، ۶ و ۷]. در حال حاضر نیز مجموعه تأسیساتی با ظرفیتهای مختلف از ۱۵۰۰ تا ۲۲۰۰۰۰ مترمکعب در روز و یا ظرفیتهای بیشتر، برای گندزدایی فاضلاب از پرتوهای فرابنفش استفاده می‌نمایند [۸، ۹ و ۱۰].

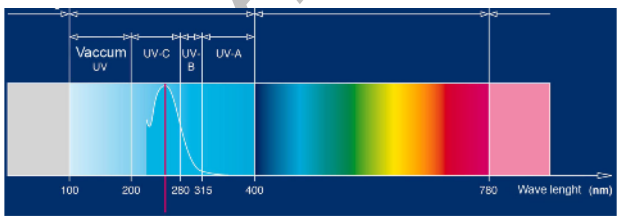
علاوه بر صنعت آب و فاضلاب و استخرهای شنا، صنایعی نظیر الکترونیک، بهداشتی و آرایشی، داروسازی، لبنی، پرورش ماهی، آبهای معدنی بطری شده و بسیاری از صنایع دیگر از این روش به منظور گندزدایی آب مورد نیاز تولیدات خود استفاده می‌نمایند [۱۰-۱۶]. به همین دلیل، تحقیقات وسیعی به‌منظور کاربرد و توسعه این روش در برخی از مراکز علمی ایران انجام شده است[۱۷، ۱۸و ۱۹]. طرحهای آزمایشگاهی و پایلوت انجام شده در دهه‌های اخیر در ایران به‌منظور بررسی تأثیر پرتوهای فرابنفش در کاهش انگلهایی نظیر تخم *آسکاریس* و کاهش مجموع کلیفرم‌ها در فاضلاب با موفقیت همراه بوده است [۱۹، ۲۰ و ۲۱]. به‌منظور استفاده از سایر طیفهای امواج الکترومغناطیسی شامل تابش‌های گاما و اشعه ایکس برای گندزدایی آب و فاضلاب، تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است. علی‌رغم مؤثر بودن این روشها در مقایسه با روش استفاده از پرتوهای فرابنفش، مشکلاتی مانند رادیکال‌های آزاد تولید شده در اثر استفاده از آنها و سایر معایب تکنیکی، باعث می‌شود به‌کارگیری پرتوهای یون‌ساز در مقیاس وسیع با محدودیتهایی همراه شود.

گندزدایی مناسب و مؤثر، عدم نیاز به زمان تماس زیاد برای گندزدایی، اضافه نشدن مواد شیمیایی مازاد، عدم تغییر طعم و بوی آب، عدم وجود خطرات بالقوه در صورت استفاده از دزهای تابشی زیاد و بسیاری از موارد دیگر از جمله مزایای استفاده از تابش‌های فرابنفش است [۲۲]. از معایب عمده این روش عدم وجود باقی‌مانده ماده گندزدا پس از فرایند، به‌منظور پیشگیری از آلودگی‌های ثانویه است.

با توجه به کاربردهای مختلف، چهار ناحیه متفاوت در طیف اشعه فرابنفش وجود دارد که شامل UV-A، UV-B، UV-C و UV خلاء است (شکل ۱). در گستره دامنه UV-C، طول موج ۲۵۴ نانومتر دارای بیشترین خاصیت میکروب‌کشی است. برای تولید این طول موج از پرتوهای فرابنفش، از لامپ‌های کم‌فشار بخار جیوه و یا از سایر لامپ‌های پرفشار یا فشار متوسط جیوه استفاده می‌شود. انواع مختلف لامپ‌های مولد UV دارای مزایا و معایبی هستند که برحسب نوع کاربرد، انتخاب می‌گردند. تقریباً بیش از ۹۰ درصد از تابش‌های تولید شده از لامپ‌های کم فشار بخار جیوه دارای طول موج ۲۵۴ نانومتر است.

ساز وکار و نحوه تأثیر تابش‌های فرابنفش در غیر فعال‌سازی باکتری‌ها به علت اتصال بنیان‌های بازی تیمین[6] به همدیگر یا دیمریزاسیون[7] است. با این عمل، روند رونوشت‌برداری رشته‌های DNA دچار اختلال شده و باکتری‌ها از بین می‌روند [۱۲ و ۲۳].

در این پژوهش، از پرتوهای فرابنفش برای گندزدایی فاضلاب تصفیه‌خانه شهید محلاتی تهران به‌عنوان نمونه در مقیاس طرح هادی یا پایلوت استفاده شد. برآورد کارایی پرتوهای فرابنفش



شکل ۱- نمایی از گستره طیف امواج الکترومغناطیس در محدوده UV و نور مرئی

[1] Downs
[2] Blunt
[3] Barnard
[4] Morgan
[5] Bang

[6] Thymine Base
[7] Dimerization

Archive of SID
www.SID.ir

در کاهش بار میکربی پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب در شرایط مختلف بهره‌برداری، نظیر تغییر میزان کدورت و یا مواد معلق موجود در پساب از اهداف عمده این طرح تحقیقاتی بود. در این طرح، تأثیر بهره‌برداری مداوم به‌مدت شش ماه و پایداری عملکرد سامانه و همچنین تأثیر تغییرات دمایی در فصول گرم و سرد سال در کاهش بار میکربی در طول مدت بهره‌برداری از سامانه گندزدایی پساب تصفیه‌خانه مذکور، بررسی شد.

۲- مواد و روشها

برای ساخت سامانه گندزدایی فاضلاب از نُه عدد لامپ کم فشار بخار جیوه مدل فیلیپس و با توان ۳۰ وات و طول ۹۰ سانتی‌متر استفاده شد. به منظور غیرفعال‌سازی باکتری‌های شاخص آلودگی، برای یک دهم ظرفیت کامل تصفیه‌خانه که معادل ۱۴/۴ مترمکعب در ساعت است، بررسی‌هایی صورت گرفت. با احتساب حجم پساب خروجی از تصفیه‌خانه و با محاسبات صورت گرفته براساس کدورت، مواد معلق و میزان گندزدهی یا شفافیت برای عبور UV-C در پساب خروجی، مشخص شد که نُه عدد لامپ، حداقل دز مورد نیاز برای این منظور را فراهم می‌نمایند. در نظر گرفتن یک دهم ظرفیت از نظر مبانی طراحی و استفاده از نتایج به‌دست آمده از طرحهای هادی در مقیاس کامل و یا صنعتی دارای ضریب اطمینان قابل قبولی است. نحوه روشن شدن لامپها مشابه لامپ‌های فلورسنت بوده و به‌کمک استارتر[1] و ترانس[2] (چوک) صورت می‌گیرد. این نوع لامپ‌ها به‌علت اینکه بیش از ۹۰ درصد طول موج تولید شده به‌کمک آنها در محدوده ۲۵۴ نانومتر است و در حین کارکرد حرارت زیادی تولید نمی‌نمایند از ارجحیت خاصی برخوردارند [۳]. برای پوشش و محافظت لامپ‌ها از لوله‌های کوارتز استفاده شده است. در این تحقیق نحوه آرایش لامپ‌ها به‌صورت ۳×۳ و خطی بود و برای نگهداری مجموعه لوله‌های کوارتز به‌همراه لامپ‌های فرابنفش به موازات هم و حفظ فاصله و آرایش آنها از تسمه‌های آلومینیومی آنودایز[3] شده و همچنین به منظور آب‌بندی مجموعه برای جلوگیری از ورود فاضلاب به درون لوله‌ها و به‌تبع آن وقوع اتصال الکتریکی از اتصالات تفلونی و اورینگ[4] مخصوص استفاده شد. محفظه یا تانک مخصوص قرارگیری مجموعه لامپ‌ها از جنس آلومینیوم و به‌شکل مکعب مستطیل به ابعاد ۲۴×۲۴×۲۰۰ سانتی‌متر ساخته شد و بر روی پایه مخصوص نصب گردید.

به‌منظور ارسال جریان فاضلاب به‌داخل سامانه گندزدایی از یک دستگاه پمپ دورانی گریز از مرکز استفاده شد. محل برداشت پساب نیز قبل از واحد کلرزنی بود.

بهره‌برداری از سامانه در شرایط مختلف تصفیه‌خانه به خصوص از نظر کدورت پساب خروجی، دمای محیطی و در نظر گرفتن ماههای گرم و سرد سال و بارگذاری‌های مختلف مجموعاً در مدت مدت شش ماه یعنی از شهریور ماه تا بهمن ماه به‌صورت متوالی انجام گرفت [۲، ۲۴ و ۲۵].

طراحی سامانه بر مبنای استفاده از نتایج تجزیه کمّی و کیفی پساب خروجی و همچنین استفاده از گزارشهای آزمایشگاهی تصفیه‌خانه شهید محلاتی در مورد کیفیت پساب خروجی بود. مقدار بار میکربی ورودی به سامانه UV به میزان $۱/۱\times۱۰^{۷}$، کل مواد معلق ۱۲ میلی‌گرم در لیتر، کل مواد محلول ۵۰۶ میلی‌گرم در لیتر و کدورت ۱۵NTU به‌عنوان مشخصات کمّی و کیفی پساب ورودی به سامانه گندزدایی، در نظر گرفته شد. برآورد میزان شفافیت آب یا گذردهی برای UV در طول موج ۲۵۴ نانومتر با نمونه‌برداری از پساب خروجی و با استفاده از دستگاه طیف‌سنج برابر با ۶۵ درصد بود و براین اساس عدد کیفیت آب[5] برابر با ۶×۱۰^{۴} به‌دست آمد[۲]. مقدار متوسط آهن و منگنز محلول در فاضلاب تصفیه شده و ورودی به سامانه گندزدایی به‌ترتیب برابر با ۱۸ و ۶ میکروگرم در لیتر برآورد گردید. مقادیر مورد نظر، از استاندارد وضع شده برای وجود این دو عنصر در آب بسیار کمتر است. آهن محلول موجود درآب تأثیر بسزایی در کاهش شدت پرتوهای فرابنفش دارد [۲۶ و ۲۷]. به‌عنوان مثال افزایش آهن محلول کل از ۰/۰۴ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، موجب کاهش شدت پرتوهای فرابنفش از ۹۵ درصد به ۶۷ درصد در لایه‌ای از آب آشامیدنی نمونه به ضخامت ۲ سانتی‌متر شد [۲۸].

بهره‌برداری از سامانه با توجه به کدورت فاضلاب از ۹ تا ۳۲ واحد NTU در دبی ۱/۵ تا ۴ لیتر در ثانیه صورت گرفت[6] و در تمام شرایط دز تابش‌دهی در درون محفظه بیش از ۴۰۰۰۰ میکروواوت در ثانیه بر سانتی‌متر مربع[7] بود.

نمونه‌برداری از فاضلاب گندزدایی شده با UV در ماههای مختلف سال صورت گرفت و به‌منظور برآورد کاهش مقدار آلودگی میکربی قبل و بعد از فرایند گندزدایی از روش تخمیر چند لوله‌ای و MPN برای شمارش مجموع کلیفرم‌ها و یا کلیفرم‌های مدفوعی[8] استفاده شد [۲۹]. نمونه‌برداری از پساب با روش رایج

[1] Starter
[2] Transe
[3] Anodized
[4] O-Ring

[5] Water Quality Factor (W_f)
[6] حداکثر ۱۴/۴مترمکعب در ساعت، تقریباً یک دهم ظرفیت واقعی تصفیه‌خانه در هنگام بهره‌برداری
[7] $40mJ/cm^2$
[8] Fecal Coliform

Archive of SID
www.SID.ir

نمونه‌برداری و از عمق پنج سانتی‌متری سطح پساب در تانک یا محفظه مخصوص قرارگیری لامپ‌ها انجام شد. تمامی نمونه‌گیری‌ها با استفاده از شیشه‌های با درب سنباده‌ای و به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر و در دو مرحله انجام شد: ۱- نمونه‌برداری قبل از ورود پساب به سامانه به‌عنوان نمونه شاهد ۲- نمونه‌برداری پس از خروج از سامانه و یا بعد از گذر از لامپ‌های فرابنفش به منظور بررسی تأثیر تابش‌دهی با پرتوهای فرابنفش. نمونه‌ها به منظور کشت بلافاصله پس از نمونه‌برداری به آزمایشگاه منتقل شدند. تعداد کل نمونه‌های گرفته شده به منظور بررسی کارایی سامانه در طول دوره بهره‌برداری دوازده مورد بود. در این تحقیق به موازات نمونه‌برداری از فاضلاب گندزدایی شده با UV، واحد امور آزمایشگاهها و کنترل کیفیت شرکت فاضلاب تهران نیز به‌صورت جداگانه اقدام به نمونه‌برداری کردند.

۳- نتایج و بحث

در جدول ۱ خلاصه‌ای از مشخصات سامانه طراحی شده برای گندزدایی فاضلاب تصفیه‌خانه شهید محلاتی تهران به‌کمک پرتوهای فرابنفش ارائه شده است.

بهره‌برداری از سامانه مورد نظر در کدورتهای مختلف از ۹ تا ۳۲ NTU انجام گرفت. این دامنه از تغییرات در واقع در برگیرنده بیشترین تغییرات مقدار کدورت در پساب خروجی تصفیه‌خانه با توجه به شرایط بهره‌برداری مختلف در هنگام آزمایش‌ها بود. میزان کدورت آب و فاضلاب یکی از عوامل بسیار مهم و تعیین کننده در طراحی سامانه‌های گندزدایی با پرتوهای فرابنفش است. با افزایش کدورت، جذب پرتوهای فرابنفش افزایش یافته و دز مورد نیاز برای غیر فعال شدن باکتری‌های شاخص آلودگی و یا سایر میکروارگانیسم‌ها[1] تأمین نخواهد شد. در رابطه ۱، عوامل مؤثر در تأمین شدن دز تابش‌های فرابنفش نشان داده شده است.

$$D = I \times t \qquad (1)$$

که در این رابطه

D دز برحسب میکروواوت در ثانیه بر سانتی‌متر مربع، I شدت پرتوهای فرابنفش برحسب میکروواوت بر سانتی‌متر مربع و t زمان تابش بر حسب ثانیه است.

همان‌گونه که در رابطه ۱ ملاحظه می‌شود در عمل می‌توان به‌منظور دستیابی به دز مورد نیاز با توجه به تغییرات مشخصات کیفی فاضلاب به‌خصوص از نظر کدورت و مواد معلق موجود در آن، نسبت به تغییر زمان تابش دهی اقدام نمود. روش دیگر به منظور برآورده شدن مقدار دز لازم برای غیر فعال سازی

جدول ۱- مشخصات فنی دستگاه گندزدایی فاضلاب با استفاده از پرتوهای فرابنفش (با توجه به تغییرات زیاد در کدورت و TSS ورودی به دستگاه)

ردیف	مشخصات و عوامل	مقدار
۱	ظرفیت تصفیه دستگاه (برای کدورت متوسط ۵ NTU)	۴L/s(۱۴/۴ m^3/h , ۳۵۰m^3/d,۶۴ GPM)
۲	ظرفیت تصفیه دستگاه (برای کدورت متوسط ۱۵ NTU)	۲/۸L/s(۱۰ m^3/h, ۲۴۰m^3/d,۴۵ GPM)
۳	ظرفیت تصفیه دستگاه (برای کدورت متوسط ۳۰ NTU)	۱/۵L/s(۵/۴ m^3/h, ۱۳۰m^3/d,۲۴ GPM)
۴	حداقل دز	۴۰۰۰۰ $\mu w.s/cm^2$
۵	تعداد لامپ‌های UV-C استفاده شده	۹ عدد
۶	نوع لامپ	کم فشار بخارجیوه، میکرب‌کش (۲۵۴ nm)
۷	مشخصات لامپ	PHILIPS TUV 30W/G 30 T8-Germicidal
۸	جنس ماده پوششی لامپ‌ها	کوارتز خالص
۹	برق مصرفی واقعی کل دستگاه	≈۴۰۰ وات
۱۰	توان یا برق مصرفی برای هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده	≈۴۵ وات
۱۱	ولتاژ مصرفی	۲۲۰ ولت
۱۲	فرکانس برق مصرفی	50-60 Hz
۱۳	جنس مواد آب بندی لوله‌های کوارتز	تفلون
۱۴	دامنهٔ تغییرات دمایی برای کارکرد دستگاه	۴۰-۲درجهٔ سلسیوس
۱۵	دامنهٔ تغییرات دمایی مشاهده شده محیطی در طول دورهٔ بهره برداری از سامانه در محوطه نصب دستگاه(تابستان و زمستان)	۲۲-۱۰درجهٔ سلسیوس
۱۶	کمترین دمای پساب ورودی به سامانه UV در هنگام بهره‌برداری(ساعت ۸ صبح، دی ماه)	۱۰درجهٔ سلسیوس
۱۷	کمینه و بیشینه کارایی دستگاه در کاهش بار میکربی با توجه به شرایط موجود در هنگام بهره‌برداری	۹۹/۹۹درصد تا ۹۹/۹۹۹۹درصد (برحسب مجموع کلیفرم‌ها ویا کلیفرم‌های مدفوعی)

باکتری‌های شاخص آلودگی فاضلاب، قرار دادن مجموعه لامپ‌های مولد فرا بنفش به‌صورت در انتظار یا آماده[2] است تا در صورت نیاز آنها را وارد مدار بهره‌برداری کرد. بررسی‌های علمی انجام شده در خصوص طراحی سامانه‌های گندزدایی آب با پرتوهای فرابنفش و منابع موجود برای طراحی این نوع سامانه‌ها و تجارب

[1] Microorganism

[2] Stand by

Archive of SID
www.SID.ir

علمی به‌دست آمده از سوی شرکتهای معتبری نظیر تروجان[1]، حداقل دز مناسب برای این منظور را تعیین کرده است. وجود حداقل دز ۴۰۰۰۰ میکروواوت در ثانیه بر سانتی‌متر مربع در گندزدایی با UV با ضریب اطمینان قابل قبول، موجب کاهش ۹۹/۹ درصد باکتری‌های شاخص آلودگی آب و کیست‌های *ژیاردیا*[2] و *کریپتوسپوریدیوم*[3] می‌شود[۲، ۳۰ و ۳۱].

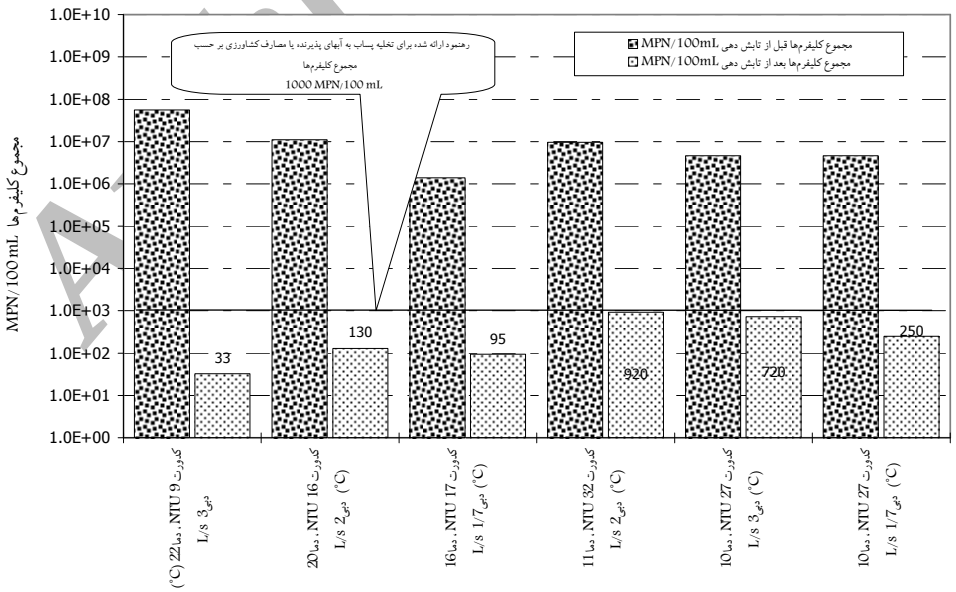
با توجه به مقادیر مختلف کدورت در هنگام بهره‌برداری، فرایند گندزدایی در دبی‌های مختلف از ۱/۵ تا ۴ لیتر در ثانیه انجام شد. تغییرات دمای محیطی با توجه به قرارگیری سامانه در محوطه بسته، زیاد نبوده و کمینه و بیشینه آن در هنگام نمونه‌برداری به ترتیب بین ۱۰ تا ۲۲ درجه سلسیوس در نوسان بود و دمای فاضلاب در سردترین روزهای سال نیز از ۱۰ درجه سلسیوس کمتر نشد.

در شکل ۲ تأثیر پرتوهای فرابنفش در کاهش بارمیکربی فاضلاب ورودی به سامانه، برحسب شمارش مجموع کلیفرم‌ها نشان داده شده است. کمترین توان عملکرد دستگاه، در کدورت ۳۲ واحد NTU به‌دست آمد. در این شرایط کاهش بار میکربی یا تعداد باکتری‌ها برحسب مجموع کلیفرم‌ها از $۹/۵\times۱۰^{۶}$ به $۹/۲\times۱۰^{۲}$ مشاهده گردید. این مقدار معادل چهار لگاریتم یا ۹۹/۹۹ درصد کاهش بار میکربی است. بهترین عملکرد دستگاه نیز در کدورت ۹ واحد NTU بوده و در این شرایط کاهش بار میکربی برحسب تعداد باکتری‌ها از $۵/۶\times۱۰^{۷}$ به ۳۳ عدد ملاحظه گردید. این مقدار معادل شش لگاریتم یا ۹۹/۹۹۹۹ درصد کاهش بار میکربی است. در شکلهای ۳ و ۴ نتآیج اعلام شده از سوی واحد امورآزمایشگاهها و کنترل کیفیت شرکت فاضلاب تهران به‌ترتیب برای مجموع کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های مدفوعی ارائه شده است. در یک مورد نیز با شمارش تعداد کلیفرم‌های مدفوعی شمارش کمتر از دو ملاحظه گردید که این امر نشان دهنده ۱۰۰درصد کاهش بار میکربی در پساب خروجی است (شکل ۴). در تحقیقات انجام شده به‌منظور بررسی کارایی پرتوهای فرابنفش در گندزدایی فاضلاب تصفیه شده در ایران و سایر نقاط جهان، کاهش دو تا پنج لگاریتمی و حتی بیشتر در کاهش شاخصهای آلودگی مشاهده شده است [۵، ۶، ۷ و ۲۱]. نظر به نتایج به‌دست آمده در مقایسه با سایر تحقیقات انجام گرفته عملکرد سامانه مورد نظر بسیار مطلوب و قابل قبول است.

۴- نتیجه‌گیری

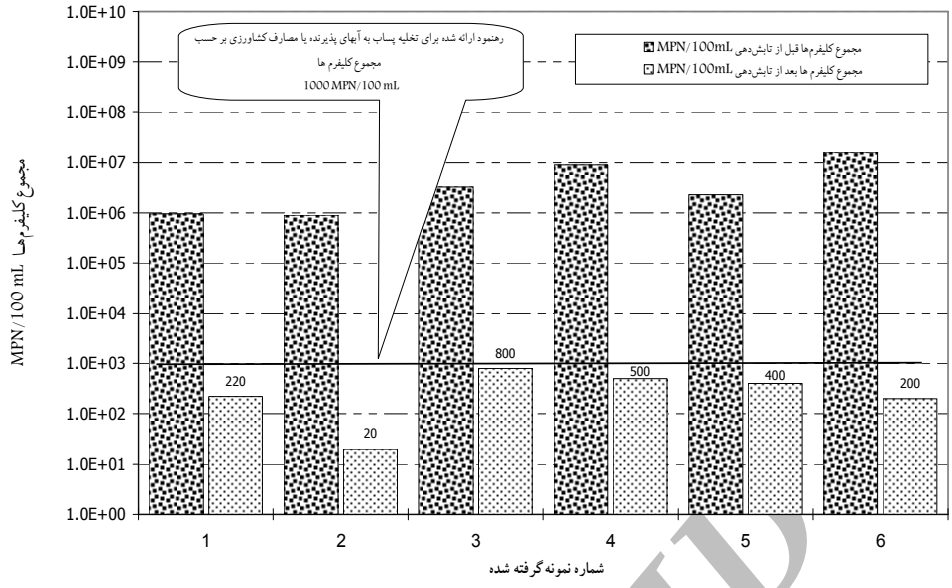
میزان کاهش بار میکربی در هنگام استفاده از پرتوهای فرابنفش برای گندزدایی پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب در مقایسه با سایر روشها و به‌خصوص کلرزنی قابل توجه می‌باشد. کاهش بار آلودگی پساب گندزدایی شده با استفاده از پرتوهای فرابنفش، منطبق با استانداردهای ارائه شده از سوی سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای استفاده در کشاورزی است. به منظور توسعه این روش بر اساس نتایج مطلوب به‌دست آمده و با استناد به نتایج تجزیه کمّی و کیفی پساب خروجی از سایر تصفیه‌خانه‌های کشور،

[1] Trojan Co.
[2] *Giardia*
[3] *Cryptosporidium*

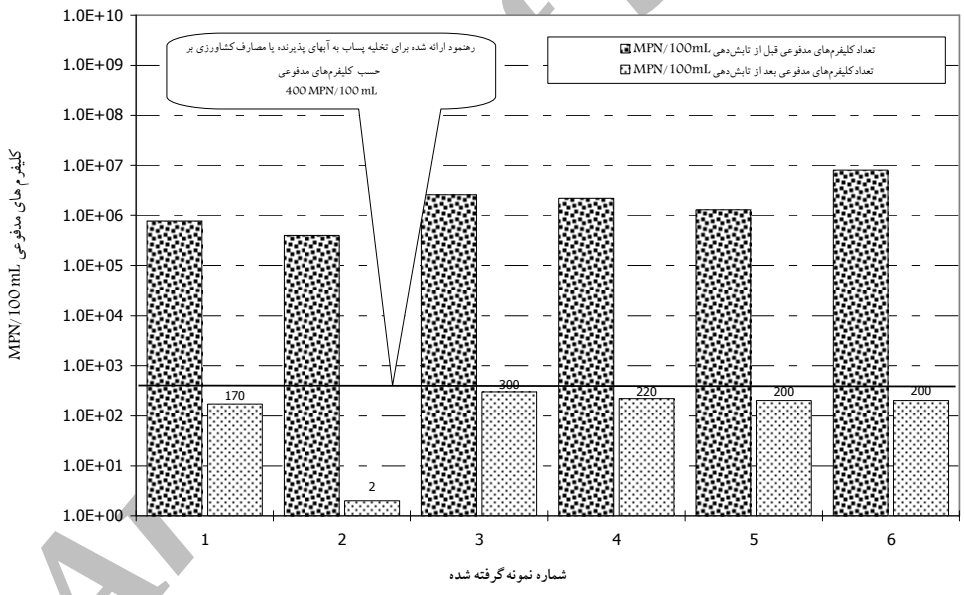


شکل ۲- تأثیر پرتوهای فرابنفش در کاهش بار آلودگی میکربی بر حسب مجموع کلیفرم‌ها در فاضلاب تصفیه شده تصفیه‌خانه شهید محلاتی تهران، نمونه‌برداری در شرایط مختلف از نظر کدورت، دمای محیطی و مقدار جریان ورودی

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳- تأثیر پرتوهای فرابنفش در کاهش بار آلودگی میکربی برحسب مجموع کلیفرم‌ها در فاضلاب تصفیه شده تصفیه‌خانه شهید محلاتی تهران براساس نتایج اعلام شده از سوی واحد امور آزمایشگاهها و کنترل کیفیت شرکت فاضلاب تهران



شکل ۴- تأثیر پرتوهای فرابنفش در کاهش بار آلودگی میکربی برحسب مجموع کلیفرم‌های مدفوعی در فاضلاب تصفیه شده تصفیه‌خانه شهید محلاتی تهران براساس نتایج اعلام شده از سوی واحد امور آزمایشگاهها و کنترل کیفیت شرکت فاضلاب تهران

می‌توان از این روش به‌عنوان روشی جایگزین در مقیاس بزرگ یا مقیاس صنعتی برای گندزدایی فاضلاب بهره گرفت. با توجه به اینکه لوازم و قطعات ساخت سامانه مورد نظر به سهولت قابل تهیه بوده و هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری از آن با روش مرسوم گندزدایی فاضلاب یعنی کلرزنی قابل رقابت می‌باشد، از نظر اقتصادی توجه به این روش و توسعه آن از اهمیت خاصی برخوردار است. در هر صورت قبل از انتخاب هر نوع روش گندزدایی، لازم است برآورد اقتصادی روش و مقایسه آنها با توجه به شرایط موجود در منطقه صورت گیرد. از مزایای مهم این روش می‌توان به افزوده نشدن مواد شیمیایی به آب از نظر جنبه‌های زیست محیطی و استفاده از پساب تصفیه شده در کشاورزی اشاره کرد.

www.SID.ir

۵- تشکر و قدردانی

به این وسیله از همکاری آقایان دکتر حسین غفوریان، دکتر حسن رحیمی، محمد حسن صحافی پور، داریوش دارابی، محمدرضا خان احمدی و همچنین خانم مهندس بابامیر، آقای قاسمی و پرسنل محترم تصفیه‌خانه شهید محلاتی تهران قدردانی می‌شود.

۶- مراجع

1- Black, G.J. (2002). *Microbiology: principal and explorations,* 5th Ed., John Wiley and Sons Inc.

2- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. (2002). *Wastewater engineering: treatment and reuse,* 4th Ed., McGraw-Hill, Metcalf and Eddy Inc., USA.

3- Lorch, W. (1987). *Handbook of water purification*, 2nd Ed., Ellis Hor Wood Ltd, England.

4- Dizer, H., Bartocha, W., Bartel, H., and Seidel, K. (1993). "Use of ultraviolet radiation for inactivation of bacteria and coliphages in pretreated wastewater." *Water Research,* 27(3), 397-403.

5- Bourrouet, A., Garcia, J., Mujeriego, R., and Peñuelas, G.(2001). "Fecal bacteria and bacteriophage inactivation in a full-scale UV disinfection system used for wastewater reclamation." 43(10),187-194.

6- Nasser, A.M., Paulman, H. Sela, O., Ktaitzer, T., Cikurel, H., Zuckerman I., Meir, A., Aharoni, A., and Adin, A. (2006). "UV disinfection of wastewater effluents for unrestricted irrigation." *Water Science and Technology,* 54(3), 83-88.

7- Tessele, F. , Monteggia, L.O., Rubio, J.(2005). "Treatment of municipal wastewater UASB reactor effluent by unconventional flotation and UV disinfection." *Water Science and Technology,* 52(1-2), 315-322.

8- Eiichi, I. (1999). "Application of UV disinfection for wastewater treatment plant discharges." *Japan J. of ultraviolet rays*, 18(1),17-20.

9- Kang, S.J., Allbaugh, T.A., Reynhout J.W., Erickson, T.L., Olmstead, K.P., Thomas, L., and Thomas, P.(2004). "Selection of an ultraviolet disinfection system for a municipal wastewater treatment plant." *Water Science and Technology*, 50(7),163-169.

10- White, G.C. (1992). *The handbook of chlorination and alternative disinfectants*, 3rd Ed., Van Nostrand Reinhold, New York, USA.

11- Reynolds, T. D., and Richards, P.A. (1982). *Unit operations and processes of environmental engineering*, 2nd Ed., PWS publishers, Boston, USA.

12- Wolf, R.L. (1990). "Ultraviolet disinfection of Potable Water." *Environmental Science and Technology,* 24(6), 768-773.

13- Dingman, J.D.(1990). "Public pool disinfection." *J. of Environmental Health,* 52(6), 341-343.

14- Johnson, I.D. (1975). *Disinfection water and waste water,* Annarbor science pub Inc, USA.

15- Cheremisinoff P. N., and young, R.A. (1975). *Pollution engineering practice handbook,* Annarbor Science pub. Inc, USA.

16- Crandall, R.A. (1986). "The use of ultraviolet light in the treatment of water in public spas and hot tubs." *J. of Environmental Health*, 49 (1), 16-23

۱۷- دباغ،ر.(۱۳۷۸). " کاربرد پرتوهای فرابنفش در گندزدایی آب." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

۱۸- غفوریان، ح.،دباغ، ر.، نبی، غ.، و مهردادی، ن.(۱۳۷۹). " کاربرد پرتوهای فرابنفش در گندزدایی آب." *م. آب و فاضلاب*، ۳۶، ۳۹-۴۷.

Archive of SID
www.SID.ir

۱۹- واعظی، ف.(۱۳۷۳). " کاربرد پرتوهای فرابنفش برای گندزدایی فاضلاب و بررسی اثر آن بر تخم کرم آسکاریس." رساله دکترا، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

۲۰- واعظی ، ف.، مصداقی‌نیا ، ع.ر.، و ایماندل، ک.(۱۳۷۳). *استفاده از پرتو فرابنفش برای گندزدایی فاضلابها*، طرح پژوهشی، دانشگاه علوم‌پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران، دانشکده‌بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، شماره ۱۸۷۱٤، پژوهشگاه اطلاعات و مدارک علمی ایران.

۲۱- موبدی،ا.، شریعت ، م.، منشی، ح.، واعظی، ف.، مصداقی‌نیا، ع.، و ایماندل، ک. (۱۳۷۳). *استفاده از پرتو فرابنفش برای گندزدایی فاضلاب*، طرح پژوهشی، دانشگاه علوم‌پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران، دانشکده‌بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، شماره ۲۸۸۶۳، پژوهشگاه اطلاعات و مدارک علمی ایران.

22- Ellis, K.V.(1991). "Water disinfection, a review with some consideration of the requirements of third world ultraviolet radiation." *Critical Reviews in Environmental Control*, 20 (5-6), 370- 376.

23- De Robbertis, E.D.P., De Robbertis, E.M.F. (1980). *Cell and molecular biology*, 7th Ed., Holt-Sanders Japan Ltd, Japan.

24- WPCF. (1986). *Wastewater disinfection manual of practice-FD-10*, Virginia, USA.

25- Qualls, R.G., and Johnson, I.D. (1985). "Modeling and efficiency of ultraviolet disinfection systems." *Water Res.,* 19 (8), 1039-1046.

26- Weber. W.J. (1972). *Physico chemical processes for water quality control,* John Willey Inc, New York, USA.

27- McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology. (1982). V.9, p.551.

۲۸- دباغ،ر.، غفوریان، ح.، چهره‌ای، م.، و طاهرخانی، ع.(۱۳۸۴)."تأثیر وجود آهن و کدورت بر گندزدایی آب به کمک پرتوهای فرابنفش." *خلاصه مقالات هشتمین همایش ملی بهداشت محیط*، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ۱۶.

29- APHA, AWWA, WPCF. (1989). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 17th Ed., Section 9221B, 9221C and 9221D, USA.

30- Quek, P.H., and Hu, J. (2008). "Indicators for photoreactivation and dark repair studies following ultraviolet disinfection." *J. of Industrial Microbiology and Biotechnology,* 35, 533-541.

31- http://www.trojanuv.com/en/pdf/UV%20papers/CryptoGiardia.pdf, Trojan Technical Bulletin #51, (Dec. 20, 2008).

Archive of SID

www.SID.ir