



بررسی امکان استفاده از محلول مولتی اکسیدان جهت گندزدایی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان

بهاره گودرزی^{۱*}، افشین ابراهیمی^۲، محمدمهدی امین^۳

چکیده

امروزه روش‌های متداول گندزدایی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری به دلیل مشکلات بهداشتی، ایمنی و زیست‌محیطی در حال جایگزین شدن با روش‌های نوین از جمله گندزدایی توسط مولتی اکسیدان تولیدشده در محل است. مولتی اکسیدان تلفیقی از چندین ماده اکسنده است که در کنار هم اثر یکدیگر را تقویت کرده و خواص منحصر به فردی را ایجاد می‌کنند. در این تحقیق اثر مولتی اکسیدان تولیدشده در محل به روش الکترولیز محلول نمک طعام جهت گندزدایی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور با شبیه‌سازی حوضچه کلرنزی، میزان کلیفرم کل و مدفوعی و همچنین میزان تولید تری‌هالومتان‌ها پس از تزریق سه دوز ۱۰، ۱۲ و ۱۴ میلی‌گرم بر لیتر مولتی اکسیدان اندازه‌گیری شد. سپس با مشخص شدن دوز بهینه ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، تغییرات مقدار اکسیژن مورد نیاز شیمیایی یا COD، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی یا BOD₅، کل مواد جامد معلق یا TSS و جامدات معلق فراری یا VSS بعد از گندزدایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از مولتی اکسیدان تولیدشده در محل در گندزدایی پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان، به خوبی استانداردهای زیست‌محیطی لازم از جمله کلیفرم کل و مدفوعی و میزان تری‌هالومتان‌های تولیدشده ضمن گندزدایی جهت تخلیه به محیط و یا استفاده در کشاورزی را برآورده می‌سازد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که گندزدایی توسط مولتی اکسیدان باعث کاهش COD، BOD₅، TSS و VSS پساب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: گندزدایی پساب، مولتی اکسیدان، الکترولیز نمک طعام، کلیفرم، تری‌هالومتان‌ها، تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان

۱- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست گرایش آب و فاضلاب، دانشگاه آزاد بندر عباس

۲- دانشیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

۳- دانشیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

* نویسنده مسئول: baharehgoodarzy@yahoo.com

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر بحران کمبود آب و رشد بی‌رویه جمعیت به خصوص در کشورهای خشک و نیمه‌خشک نظر کارشناسان و متخصصان را به استفاده مجدد از پساب فاضلاب بهداشتی تصفیه‌شده معطوف ساخته است؛ اما مخاطرات بهداشتی و زیست‌محیطی ناشی از آن بایستی به صورت جدی بررسی و برطرف گردد. یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های استفاده از پساب، آلودگی میکروبی آن است؛ بنابراین گندزدایی به عنوان یکی از مهم‌ترین فرایندهای نهایی تصفیه فاضلاب باید به گونه‌ای انجام گیرد که عوامل بیماری‌زا و طیف وسیعی از باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها و انگل‌ها در پساب را تا رسیدن به حد استاندارد غیرفعال سازد.

گندزدایی پساب به روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی قابل انجام است که هر یک دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشد. از روش‌های شیمیایی گندزدایی می‌توان به مواردی چون استفاده از ترکیبات کلردار از جمله گاز کلر، دی‌اکسید کلر، هیپوکلریت کلسیم و هیپوکلریت سدیم، استفاده از ازن، هالوژن‌هایی چون برم و ید، پراکسید هیدروژن و یا تلفیقی از این مواد که تحت عنوان مولتی اکسیدان شناخته می‌شود، اشاره کرد. برخی از روش‌های فیزیکی گندزدایی عبارت‌اند از: استفاده از اشعه فرابنفش، امواج اولتراسونیک و حرارت. روش‌های بیولوژیکی به صورت محدودتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از لاگون‌ها یکی از روش‌های گندزدایی بیولوژیکی است. در انتخاب روش گندزدایی، معیارهایی همچون قدرت گندزدایی، سهولت، هزینه و نیز عدم ایجاد ترکیبات مضر مورد توجه قرار می‌گیرد.

در میان گندزداهای شیمیایی، استفاده از ترکیبات کلردار به دلیل سهولت کاربرد، قیمت مناسب و سرعت گندزدایی، سال‌هاست که به عنوان گزینه منتخب مورد

استفاده قرار می‌گیرد؛ اما پیدایش روش‌های نوین و همچنین اطلاع از پتانسیل سمیت پساب کلرزی شده، باعث شده تا مواد و روش‌های جدید مورد توجه قرار گیرد (Gomez et al. 2002). از جمله این روش‌ها، استفاده از مولتی اکسیدان تولیدشده در محل است.

تولید مولتی اکسیدان در محل با استفاده از روش الکترولیز محلول آب و نمک انجام می‌گیرد. مولتی اکسیدان تولیدی، تلفیقی از چند اکسیدان موثر شامل ازن، آب اکسیژنه، دی‌اکسید کلر، هیپوکلریت سدیم، اسید هیپوکلرو، کلرگازی محلول و اکسیژن محلول می‌باشد. البته با وجود شواهد بسیاری دال بر مولتی اکسیدان بودن محلول تولیدی، به دلیل عدم وجود روش‌های اندازه‌گیری، نمی‌توان مقدار دقیق هر یک از اکسیدان‌ها را تعیین نمود. مولتی اکسیدان با دربرداشتن خواص تک‌تک اکسیدان‌ها، با توجه به اکسیداسیون پیشرفته، اثر بالقوهای از خود نشان می‌دهد. در مقایسه با استفاده از گاز کلر، سرعت گندزدایی مولتی اکسیدان دو تا پنج برابر بیشتر و میزان تولید تری‌هالومتان‌ها حدود ۲۰ تا ۵۰ درصد کمتر است. (Swan, Piatt, and Lesperance 1998)

با بررسی‌های به عمل آمده در مطالعه‌ی حاضر تاکنون در کشور به غیر از نصب و راه‌اندازی سامانه گندزدایی مولتی اکسیدان در شبکه آب‌رسانی چندین سایت تحقیق مشابهی صورت نگرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

به منظور شبیه‌سازی حوضچه کلرزی، یک واحد پایلوت حوضچه تماس طراحی و ساخته شد. پساب ورودی به پایلوت از خروجی حوضچه ته‌نشینی ثانویه تصفیه‌خانه (پساب کلرزی نشده) تأمین شد. بدین ترتیب که پساب توسط پمپ وارد یک مخزن ذخیره دو مترمکعبی شده و سپس با دبی ۱۴ میلی‌لیتر در ثانیه وارد پایلوت شد.

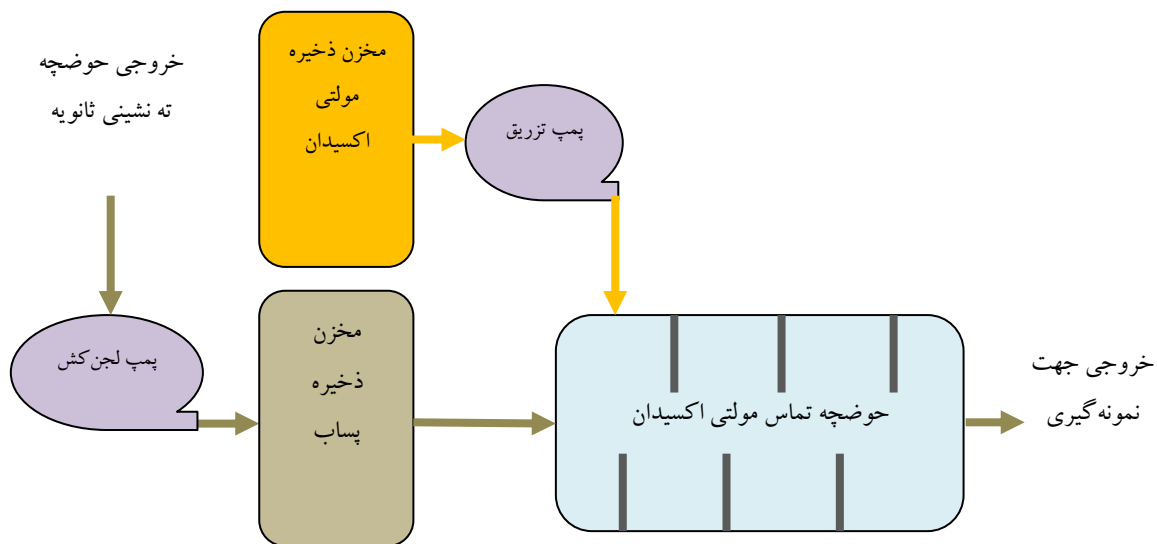
ساعت از تغییر حاصل شده (تغییر دوز تزریقی مولتی اکسیدان) و به تعادل رسیدن جریان و همچنین اندازه گیری دقیق دبی پساب و دوز تزریقی مولتی اکسیدان جهت انجام آزمایش های شیمیایی و میکروبی بر اساس روش استاندارد انجام شد.

کلیه آزمایش های میکروبی و فیزیکی و شیمیایی در بر اساس روش استاندارد انجام شد (Standard Methods 2005).

آزمایش های میکروبی شامل اندازه گیری کلیفرم کل و مدفوعی و همچنین اندازه گیری میزان تولید تری هالومتان ها با تزریق سه دوز ۱۰، ۱۲ و ۱۴ میلی گرم بر لیتر مولتی اکسیدان انجام شد. با توجه به استاندارد خروجی پساب، مشخص شد که دوز ۱۰ میلی گرم بر لیتر مولتی اکسیدان مناسب و بهینه است؛ بنابراین آزمایش های BOD_5 ، COD، TSS و VSS با تزریق ۱۰ میلی گرم بر لیتر مولتی اکسیدان انجام شد.

پایلوت مذکور به صورت یک کانال مستطیلی شکل از جنس پلکسی گلاس با حجم ۲۵ لیتر، با طول ۵۰، عرض ۱۷ و عمق ۳۰ سانتیمتر ساخته شد که زمان ماند پساب در آن معادل ۳۰ دقیقه می باشد. به منظور ایجاد شرایط مناسب اختلاط در داخل کانال، تعداد شش عدد بافل به صورت عمود بر جریان در نظر گرفته شد. همچنین پس از انجام آزمایشات مقدماتی و مشخص شدن اختلاف دانسیته پساب و مولتی اکسیدان مورد مطالعه، به منظور اختلاط بهتر، در کانال از یک عدد پمپ سیرکولاتور نیز استفاده گردید. در شکل (۱) نمودار جریان پایلوت نشان داده شده است.

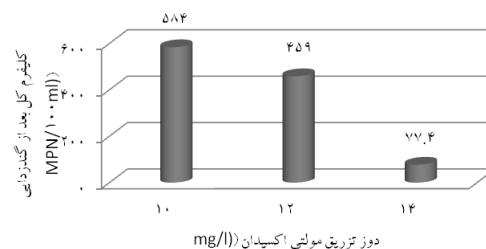
مولتی اکسیدان مورد نیاز با استفاده از سامانه گندزدایی پیشرفته کلر-ازن بکو ساخت شرکت مهندسین مشاور و تحقیقات بهین آب زنده رود تأمین شد. مولتی اکسیدان همزمان با ورود پساب توسط دوزینگ پمپ با سه دوز ۱۰، ۱۲ و ۱۴ میلی گرم بر لیتر تزریق شد. نمونه برداری ها هر بار بعد از گذشت دو



شکل (۱). نمودار جریان پایلوت حوضچه تماس مولتی اکسیدان

۳- نتایج

مطابق شکل (۲)، نتایج آزمایش کلیفرم کل نشان می‌دهد که دوزهای ۱۰، ۱۲ و ۱۴ میلی‌گرم بر لیتر مولتی اکسیدان هر سه کارایی بالایی جهت کاهش کلیفرم کل دارد. آزمون آماری کروسکال والیس نشان می‌دهد که بین نتایج حاصل از تزریق این سه دوز تفاوت معنی‌داری وجود نداشته است ($P=0/82$). یعنی دوزهای مختلف بکار رفته دارای کارایی یکسانی در حذف کلیفرم کل داشته‌اند. به هر حال با توجه به استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران مبنی بر اینکه تعداد کلیفرم کل در پساب برای دفع به آب‌های سطحی یا کشاورزی باید کمتر از $1000 \text{ MPN}/100\text{ml}$ باشد، می‌توان نتیجه گرفت که با تزریق ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر مولتی اکسیدان با میانگین کاهش ۹۹/۹۸ درصد کلیفرم کل، کیفیت پساب خروجی مطابق استاندارد می‌باشد.



شکل (۲) نمودار میانگین کلیفرم کل در پساب گندزدایی شده با تزریق دوزهای ۱۰، ۱۲ و ۱۴ میلی‌گرم بر لیتر مولتی اکسیدان با میانگین کلیفرم کل ورودی برابر $10^7 \times 2/59 \text{ MPN}/100\text{ml}$

نتایج حاصل از آزمایش کلیفرم مدفوعی مطابق شکل (۳) با توجه به استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران مبنی بر اینکه تعداد کلیفرم مدفوعی در پساب برای تخلیه به آب‌های سطحی یا کشاورزی باید کمتر از $400 \text{ MPN}/100\text{ml}$ باشد، نشان می‌دهد که

تزریق ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر مولتی اکسیدان با کاهش ۹۹/۹۵ درصد کلیفرم مدفوعی مناسب است.

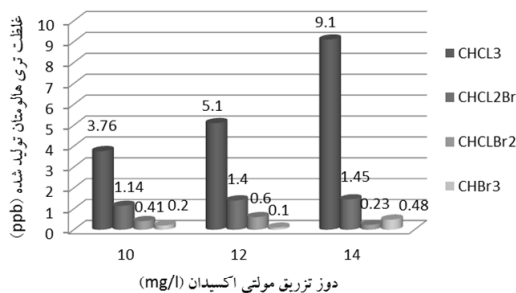
مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۲ توسط ژولیا و همکارانش در انگلستان در خصوص کلرزنی خروجی ناشی از تصفیه اولیه با ۳ دوز ۸، ۱۶، ۳۰ میلی‌گرم در لیتر با استفاده از هیپوکلریت سدیم انجام گرفت که مشخص شد E.Coli و Fecal enterococcus به طور کامل و سریع غیرفعال شدند ولی باکتریوفاژ MS به میزان کمتری در دوزهای بکار گرفته شده غیرفعال گردید. هرچند که پولیو ویروس‌های موجود به میزان قابل توجهی نسبت به باکتریوفاژ FRNA (MS2) به ۸ وسیله کلر غیرفعال شد. (Sills, Martiand and, Torgeson 2003)

طی مطالعه‌ای که توسط Veschetti و دیگران در خصوص مقایسه ترکیب پراستیک اسید (PAA) و هیپوکلریت سدیم در گندزدایی فاضلاب خروجی از یک واحد پایلوت تصفیه فاضلاب به روش لجن فعال متعارف در حضور هفت میکروارگانیسم انجام شد، مشخص گردید که اثر میکروب‌کشی PAA در برابر برخی از باکتری‌های مورد مطالعه شامل کل کلیفرم، کلیفرم‌های مدفوعی، اشریشیاکلی و گونه‌های پسود و موناس و سالمونلا مشابه نتایج حاصله از گندزدایی به روش هیپوکلریت سدیم می‌باشد (Veschetti et al. 2005).

مطالعه انجام شده توسط سادات و همکاران در سال ۱۳۸۷ در شهر یاسوج مشخص کرد که پراستیک اسید می‌تواند جایگزین مناسبی برای ترکیبات کلر در گندزدایی پساب فاضلاب باشد. نتایج حاکی از آن است که استفاده ترکیبی از هیپوکلریت سدیم، پراستیک اسید و اشعه فرابنفش در گندزدایی پساب، سبب افزایش کارایی این روش در غیرفعال کردن میکروب‌های گروه کلیفرم و استرپتوکوک مدفوعی می‌گردد. این تحقیق همچنین نشان داد که استفاده از هر سه روش یعنی

تحقیق مشخص شد اگر میزان دوز به کاررفته پراستیک اسید و هیپوکلریت سدیم برای گندزدایی پساب مناسب باشد منجر به تشکیل محصولات جانبی گندزدایی با سمیت جانبی نمی گردد. (Cerebelli et al 2005)

نتایج فوق نشان می دهد که دوز بهینه تزریق مولتی اکسیدان ۱۰ میلی گرم بر لیتر می باشد. لذا سایر آزمایش های فیزیکی و شیمیایی با تزریق این دوز انجام شد.

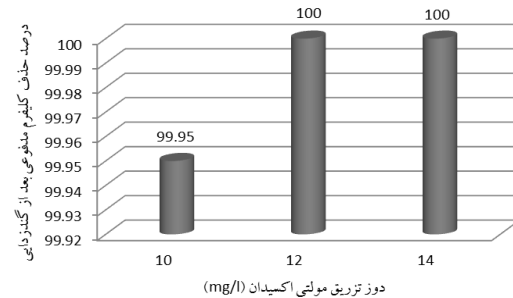


شکل (۴). میانگین میزان تری هالومتان های تولید شده بعد از گندزدایی پساب با دوزهای ۱۰، ۱۲ و ۱۴ میلی گرم بر لیتر مولتی اکسیدان

در شکل (۵)، میانگین مقادیر پارامترهای BOD_5 ، TSS و VSS قبل و بعد از گندزدایی نشان داده شده است. آنالیز آماری ویل کاکسون نشان می دهد که مقادیر COD پساب ورودی و خروجی پایلوت دارای تفاوت معنی داری می باشد ($p=0/0275$)؛ اما با همان آنالیز، در مقادیر BOD_5 پساب ورودی و خروجی پایلوت اختلاف معنی داری مشاهده نمی شود ($p>0/05$). آنالیز آماری ویل کاکسون، تفاوت معنی داری در غلظت کل جامدات معلق در پساب ورودی و خروجی را نشان نمی دهد ($p=0/068$).

در مورد کل جامدات فرار قبل و بعد از عمل گندزدایی، مشاهده می شود که بین مقادیر ورودی و خروجی این پارامتر تفاوت قابل توجهی وجود دارد؛ یعنی افزودن ماده گندزدا سبب کاهش محتوای جامدات فرار پساب شده است.

کاربرد اشعه یو وی، پراستیک اسید و هیپوکلریت سدیم به صورت همزمان بالاترین اثر در گندزدایی را داشته و کاربرد اشعه فرابنفش و هیپوکلریت سدیم دارای کمترین اثر می باشد. البته قابل ذکر است استفاده از هر کدام از این روش ها به تنهایی می تواند کیفیت پساب نهایی را تا حد قابل قبولی بهبود ببخشد (سادات ۱۳۸۸).



شکل (۳). میانگین درصد حذف کلیفرم مدفوعی در پساب گندزدایی شده با تزریق دوزهای ۱۰، ۱۲ و ۱۴ میلی گرم بر لیتر مولتی اکسیدان با میانگین کلیفرم کل ورودی برابر $2/76 \times 10^5 MPN/100 ml$

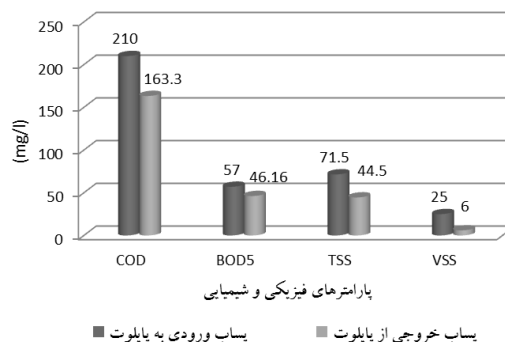
مطابق شکل (۴)، مشاهده می شود که مجموع غلظت های کلروفرم، برمودی کلرومتان، دی بروموکلرومتان و بروموفرم تولید شده در پساب گندزدایی شده با مولتی اکسیدان با افزایش دوز تزریق مولتی اکسیدان افزایش یافته است. با این حال این مقدار در هر سه دوز ۱۰، ۱۲ و ۱۴ میلی گرم بر لیتر کمتر از مقدار مجاز ۸۰ میکروگرم بر لیتر مطابق استانداردهای سازمان بهداشت جهانی، سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده و ایران می باشد (National Primary Drinking Water Regulations, 1998).

بنابراین دوز ۱۰ میلی گرم بر لیتر مولتی اکسیدان با توجه به تولید کمتر تری هالومتان ها، مناسب است. مطالعه ای در سال ۲۰۰۲ توسط کربلی و همکارانش در شهر رم ایتالیا در خصوص سمیت ژنی محصولات جانبی گندزدایی کاربرد پراستیک اسید و هیپوکلریت سدیم برای گندزدایی پساب فاضلاب انجام شد. طی این

۷- منابع

- سادات، ع. ۱۳۸۸. بررسی گندزدایی پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب یاسوج به روش تلفیقی اشعه ماوراءبنفش پراستیک اسید و هیپو کلریت سدیم در مقیاس پایلوت. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد دانشگاه علوم تحقیقات خوزستان.

- Cerebelli, R., L. Cconti, S. Monarce, D. Feretti, I. Zerbin, C. Zani, E. Veschetti, D. Cuttili, M. Ottaviani. 2005. Genotoxicity of the disinfection by products resulting from per acetic acid or hypochlorite disinfected sewage waste water. *Water Research* 39:1105-1113.
- Gomez, M., A. de la Rua, G. Garralón, F. Plaza, E. Hontoria, M.A. Gómez. 2006. Urban wastewater treatment disinfection by filtration technologies. *Desalination*. 190 (3)16-28.
- Sills, Julia A., Steve W. Martin, David R. Torgeson. 2003. Chlorination of indicator bacteria and viruses in primary sewage effluent. *Apple Environ Microbial* 69:2038-2043.
- Swan. Leslie Snowden., Piatt. John, and Lesperance. Ann. 1998. Disinfection Technologies for Water and Wastewater Treatment: Alternatives to Chlorine Gas, Pacific Northwest National Laboratory.
- Standard Methods for the Examination of Wather and Wastewater. 2005. 20thed. Washingt on; APHA. WEF and AWWA.
- U.S. EPA. National Primary Drinking Water Regulations: Disinfectant and Disinfection By-Products Notice of Data Availability, Office of Ground Water and Drinking Water. 1998. <http://www.epa.gov/OGWDW/mdbp/dis.htm>.
- Veschetti. E, B. Cittadini, D. Maresca G. Citti, M. Ottaviani. 2005. Inorganic by products in waters disinfected with chlorine dioxide, *Microchem. J.* 79.



شکل (۵). میانگین مقدار پارامترهای فیزیکی و شیمیایی قبل و بعد از گندزدایی با تزریق ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر مولتی اکسیدان

۵- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق در مجموع نشان داد که استفاده از مولتی اکسیدان تولیدشده در محل در گندزدایی پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان استانداردهای زیست‌محیطی لازم در خصوص کلیفرم کل و مدفوعی موجود در پساب خروجی و همچنین میزان تری‌هالومتان تولیدشده، جهت تخلیه به محیط و یا استفاده در کشاورزی را برآورده می‌سازد. همچنین مقایسه سه دوز مورد مطالعه نشان می‌دهد که دوز ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر مولتی اکسیدان با توجه به تأمین نیازهای استاندارد میکروبی پساب و تولید تری‌هالومتان کمتر، مناسب و بهینه است. در نهایت مشخص شد که اثر مولتی اکسیدان بر کاهش BOD₅ و TSS ناچیز و بر کاهش COD و VSS قابل توجه می‌باشد.

۶- تقدیر و تشکر

نگارندگان از حمایت‌های بی‌دریغ مدیرعامل و معاونت محترم شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، همچنین کارشناسان و کارکنان محترم تصفیه‌خانه شمال اصفهان و نیز کارشناسان واحد بهداشت محیط مرکز بهداشت استان اصفهان و در نهایت کارشناسان محترم شرکت مهندسی مشاور و تحقیقات بهین آب زنده رود، کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

Survey of Feasibility of Using Multi-Oxidant Solution for Disinfection of Isfahan North Wastewater Treatment Plant Effluent

Bahare Goudarzi^{1,*}, Afshin Ebrahimi², Mohammad Mehdi Amin³

Abstract

Recently, the conventional disinfection methods for the municipal wastewater treatment plants effluents are being replaced by modern disinfection methods such as multi-oxidants which are produced in-situ, because of various problems of health, safety and environmental concerns. Multi-oxidants are combination of several oxidizing agents to reinforce each other and create unique properties. In this study, the effects of multi-oxidants produced in-situ by electrolysis of sodium chloride solution to disinfect the Isfahan north wastewater treatment plant (INWWTP) were investigated. In this regard and by simulation of the chlorination contact basin, the total and fecal coliforms as well as the amount of THMs were measured after injection of 10, 12 and 14 mg/L multi-oxidants. The disinfectant dose of 10 mg/L was determined as optimal. Then the changes in the amount of COD, BOD₅, TSS, and VSS were investigated after disinfection. The results showed that using multi-oxidant produced in-situ in disinfecting INWWTP effluent could meet the environmental standards including total and fecal coliforms, and THMs concentration. As well as the environmental discharge and agricultural reuse guidelines were met. The results also showed that multi-oxidants disinfection could reduce the wastewater effluent BOD₅, COD, TSS and VSS.

Keywords: *Effluent disinfection, Multi-oxidant, Edible salt electrolysis, Coliform, THMs, Isfahan north wastewater treatment plant*

1- Master of water and wastewater, Environmental Engineering, Islamic Azad University, Bandar Abbas Branch

2- Associate Professor, Faculty of Health, Isfahan University of Medical Sciences

3- Associate Professor Faculty of Health, Isfahan University of Medical Sciences

* Corresponding Author: *baharehgoodarzy@yahoo.com*