



کاهش آلودگی بار میکروبی کل و اشرشیا کلی پساب ثانویه با استفاده از پلاسما سرد اتمسفری

الناز احمدی گل تپه‌ئی^{۱*}، حامد مجیدی زاهد، حامد عسکری

پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای- پژوهشگاه علوم فنون هسته‌ای- صندوق پستی ۸۳۶-۱۴۳۹۵-کرج-ایران

چکیده:

با توجه به افزایش جمعیت کره زمین و کمبود آب، یکی از راهکارهای جلوگیری از هدر رفت آب و استفاده مجدد آن می‌تواند تصفیه پساب‌های شهری و استفاده آن در بخش کشاورزی باشد. جهت این امر باید پساب تصفیه شده از استانداردهای لازم برخوردار باشد و موجب آلودگی محیط زیست و محصولات کشاورزی نشود. نمونه‌های پساب تحت پلاسما سرد اتمسفری اسپارک با ولتاژ ۱۸ kv در دو زمان ۵ و ۷ دقیقه (به ترتیب تیمار ۱ و ۲) قرار گرفتند و تیمار مجدد پلاسما اسپارک با منبع تغذیه تسلا کوئل ۲۰ kv بلافاصله بر روی تیمار ۱ و ۲ در دو زمان ۳ دقیقه (به ترتیب تیمار ۳ و ۵) و ۵ دقیقه (به ترتیب تیمار ۴ و ۶) شکل گرفت. در نهایت به این نتیجه رسیدیم تیمار ۵ بهترین شرایط را بین تیمارها داراست که توانست بار میکروبی کل و اشرشیا کلی را ۱۰۰٪ برای روز صفر کاهش داده و BOD^2 و COD^3 را به ترتیب ۹۴.۵٪ و ۹۵.۲٪ و تا حد مجاز کشاورزی، پایین آورد.

کلید واژه: پساب، اشرشیا کلی، بار میکروبی، پلاسما سرد اتمسفری، پلاسما اسپارک، BOD ، COD

Reduction of total microbial load and Escherichia coli contamination using atmospheric cold plasma on secondary effluent

Elnaz Ahmadi Goltappei, Hamed Majidi zahed, Hamed askari

Nuclear agriculture research school, Nuclear Science and Technology Institute, Karaj, Iran.

Abstract

Due to the increase in world population and water shortage, one of the solutions to use the waste of drinking water can be the approval of urban wastewater and using in the agricultural sector. For this purpose, the effluent approved by the standard should be necessary and should not pollute the environment and agricultural products. The effluent samples were subjected to atmospheric cold Spark plasma with a voltage of 18 kv in two times of 5 and 7 minutes (teams 1 and 2) and plasma spark re-treatment with Tesla coil 20 kv power supply was immediately formed on treatments 1 and 2 in two times of 3 minutes (treatments 3 and 5 respectively) and 5 minutes (4 and 6 respectively). Finally, we came to the conclusion that treatment 5 has the best conditions among the treatments, which will reduce total microbial load and Escherichia coli 100% for day zero, and reduce BOD and COD by 94.5% and 95.2%, respectively, bringing down to the agricultural allowance.

Keywords: Effluent, Escherichia coli, Microbial load, Atmospheric cold plasma, Spark plasma, BOD, COD

Emil: eahmadi@aeoi.org.ir

² Biochemical oxygen demand

³ Chemical oxygen demand

۱. مقدمه

با توجه به رشد جمعیت، تغییرات اقلیمی و آب و هوایی یکی از مشکلات پیش روی بشر کم آبی می‌باشد. این مسئله برای کشور ما ایران که در منطقه نسبتاً خشک واقع شده است، بسیار بحرانی است [۱ و ۲]. در حال حاضر حدود ۹۳ درصد از کل آب مصرفی ایران صرف آبیاری حدود ۸/۵ میلیون هکتار از اراضی زراعی شده و سهم بخش شرب و صنعت به ترتیب ۵/۸ و ۱/۲ درصد می‌باشد [۳]. در حال حاضر در کشور، به ویژه در حواشی شهرهای بزرگ و مراکز استانها، مناطق وسیعی با پساب‌ها و آبهای برگشتی آبیاری میشوند. در بیشتر مواقع این استفاده غیر اصولی بوده و برای کشت سبزیجات و صیفیجات به کار رفته و موجب آلودگی محیط زیست، تجمع آلودگی در خاک و انتقال آن به محصولات تولیدی شده است. جهت استفاده صحیح و پایدار از این منابع تدوین استانداردها و ضوابط مناسب و الزام در رعایت استانداردها و ضوابط مربوط ضروری بوده و توجه به این دو اصل می‌تواند متضمن اثرات سودمندی همچون حفاظت کمی و کیفی منابع آب و کاهش آلودگی محیط زیست گردد [۲]. یکی از مهم‌ترین آلودگی‌های پساب‌های شهری بار میکروبی اشرشیا کلی است که می‌تواند از طریق مسیر مدفوعی-دهانی از فردی به فرد دیگر منتقل شده و عامل ایجاد عفونت گردد. که در این مقاله با هدف کاهش بار میکروبی و جلوگیری از رشد مجدد آن قدم برمی‌داریم. در زمان‌های قدیم و حتی امروزه برای گندزدایی پساب از روش‌های شیمیایی بخصوص کلر زنی استفاده می‌شد. که با توجه به آثار زیان‌بار آن در محیط زیست روش منسوخ به حساب می‌آیند و روش‌های نوین جایگزین آنها شده است [۴]. از مهم‌ترین این روش‌ها استفاده از پلاسما سرد اتمسفری به عنوان راهی دوست‌دار محیط زیست، ساده و ارزان است [۵]. پلاسما به عنوان حالت چهارم ماده شناخته شده است که برای تشکیل آن باید به مولکول‌های گاز انرژی وارد کنیم. پلاسما شامل ذرات باردار (الکترون‌ها، یون‌های مثبت)، رادیکال‌های آزاد و ذرات خنثی است که آزادانه حرکت می‌کنند. پلاسما ها به دو دسته حرارتی و غیر حرارتی تقسیم می‌شوند. پلاسماهای سرد با توجه به دمای گاز در حدود دمای اتاق کاربردهای فراوان در شاخه‌های کشاورزی، پزشکی و زیستی دارند. تخلیه الکتریکی پلاسما در محیط آبی منجر به واکنش‌های زنجیره‌ای پیچیده می‌شود. که نقش اصلی در این واکنش‌ها بر عهده گونه‌های فعال واکنشی (اکسیژنی) نظیر رادیکال‌های (H[•], O[•] و OH[•] و...)، مولکول‌ها (H₂O₂ و O₃ و...)، موج شوک^(۵) و اشعه ماوراء بنفش است [۶-۸]. سیستم منبع تغذیه (ولتاژ و جریان ورودی)، نوع گاز (اکسیژن، نیتروژن، هوا و...)، فشار گاز ورودی نوع و چیدمان محفظه بر نتیجه کار بسیار تاثیرگذار است [۹]. یکی از انواع موثر در حذف و کاهش بار میکروبی محیط‌های آبی پلاسمای اسپارک است. پلاسما اسپارک در رژیم کرونا با تولید پلاسما غیر حرارتی منحصر به فرد با چگالی نسبتاً زیاد، دمای الکترونی بالا و گونه‌های شیمیایی فعال متعدد، موج شوک و اشعه ماوراء بنفش به برهمکنش با محیط پساب می‌پردازد [۱۰].

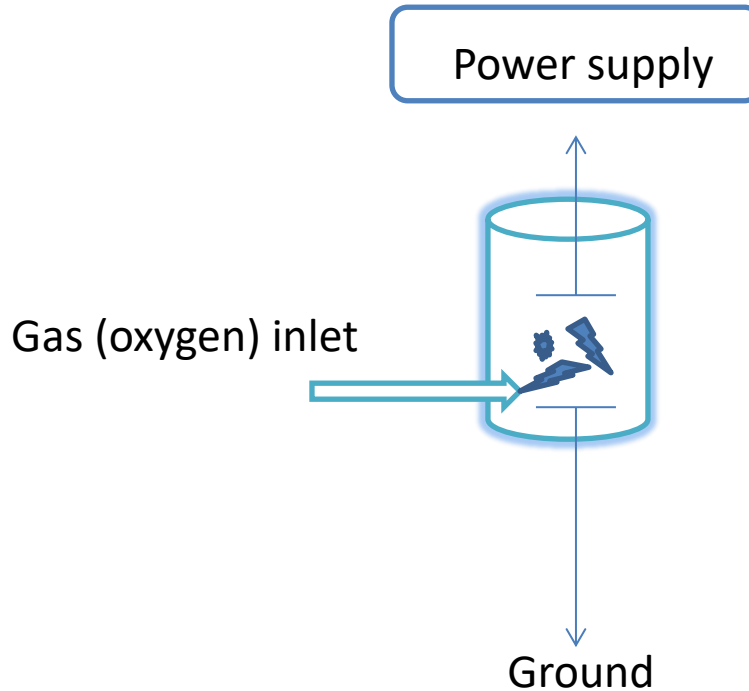
مواد و روش‌ها

پساب مورد نیاز در این تحقیق از تصفیه خانه شهرک اکباتان جمع‌آوری گردیده است. مساحت کل این تصفیه خانه ۷۰ هکتار است که از سال ۱۳۶۳ مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. راندمان تصفیه ۹۷٪ و حداکثر دبی ۴۵۰۰ متر مکعب در روز می‌باشد. جمعیت تحت پوشش ۱۰۰ هزار نفر است. سیستم تصفیه مورد استفاده سیستم لجن فعال می‌باشد. نمونه‌های پساب مورد آزمایش قبل از واحد کلر زنی در ظروف استریل تیره جمع‌آوری شده و برای جلوگیری از تغییرات در ظروف و همراه یخ در اسرع وقت به آزمایشگاه جهت انجام آنالیز انتقال داده شدند. برای شروع تست‌های پلاسما دهی از پساب جمع‌آوری شده به میزان ۱۰۰ cc را به محفظه

پلازما اسپارک وارد می‌کنیم. همه‌ی تیمارها در محفظه‌ای از جنس تفلون و الکترودها به صورت پین‌های سوزن 4 و از جنس تنگستن با فاصله قابل تنظیم انجام پذیرفت. در بدنه دستگاه محل ورود گاز (اکسیژن) به درون محفظه تعبیه شده است. یکی از الکترودها زمین شده و الکتروود دیگر به منبع تغذیه متصل است که توسط سویچ گازی کلیدزنی می‌شود. به این صورت که با استفاده از منبع تغذیه ابتدا بانک خازنی تخلیه و سپس پلازما اسپارک درون محفظه شکل می‌گیرد (شکل ۱). در ابتدا منبع تغذیه DC با ولتاژ ورودی 50 kV و جریان در حدود میلی آمپر به محفظه فوق با فاصله الکترودها 2 cm و شار گاز اکسیژن 1.5 لیتر بر دقیقه متصل می‌گردد. ولتاژ کاری منتخب برای دو تیمار 1 و 2، 18 kV و زمان اعمال پلازما در تیمار 1 و 2 به ترتیب 5 و 7 دقیقه می‌باشد. سپس برای تیمارهای 3، 4، 5 و 6 منبع تغذیه تسلا 40 kV، شار گاز اکسیژن 4.5 لیتر بر دقیقه و فاصله 1 cm برای الکترودها انتخاب شد. تیمار 3 و 4 از اعمال شرایط جدید بلافاصله بر روی تیمار 1 با ولتاژ کاری 20 kV و زمان به ترتیب 3 و 5 دقیقه تحت تابش پلازما واقع شدند. تیمار 5 و 6 نیز با اعمال ولتاژ کاری 20 kV و زمان به ترتیب 3 و 5 دقیقه بر روی تیمار 2 با شرایط جدید بوجود آمدند. تمامی تیمارها با سه تکرار انجام شد.

جدول ۱: مشخصات تیمارهای آزمایشی

تیمار	محیط تحت اعمال پلازما	ولتاژ کاری - منبع تغذیه	شار اکسیژن (L/min)	فاصله الکترودها (cm)	زمان (دقیقه)
T1	پساب ثانویه	DC 50kV - 18 kV	1.5	2	5
T2	پساب ثانویه	DC 50kV - 18 kV	1.5	2	7
T3	تیمار 1	20 kV - 40kV تسلا کویل	4.5	1	3
T4	تیمار 1	20 kV - 40kV تسلا کویل	4.5	1	5
T5	تیمار 2	20 kV - 40kV تسلا کویل	4.5	1	3
T6	تیمار 2	20 kV - 40kV تسلا کویل	4.5	1	5



شکل ۱: شماتیک دستگاه پلاسما اسپارک

کارایی گندزدایی با استفاده از تعیین تعداد کل کلنی‌ها و اشرشیا کلی کل به‌عنوان شاخص عوامل بیماری‌زای باکتریایی در نمونه‌های پساب ثانویه به عنوان شاهد و ۶ تیمار پلاسما دیده، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از روش شمارش پلیت و نتایج بر حسب $CFU\ ml^{-1}$ گزارش گردید. نمونه‌ها بر روی دو محیط کشت نوترینت آگار و محیط کشت مکانکی آگار به ترتیب برای کل کلنی‌ها و اشرشیا کلی کشت و تعداد کلنی‌ها به صورت دستی شمارش شدند. جهت رشد مجدد میکروارگانیسم‌ها نمونه‌های تیمار شده به مدت ۳ روز و در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد در شرایط تاریک و دور $100\ rpm$ ، در شیکرانکوباتور نگهداری شدند. در روزهای اول و سوم یک میلی‌لیتر از نمونه جهت بررسی رشد مجدد کل کلنی‌ها و باکتری اشرشیا کلی جمع‌آوری شد. آزمون در سه تکرار صورت پذیرفت. نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS به‌طور توصیفی و تحلیلی مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت بررسی اختلاف معنی‌دار در میانگین تیمارهای ۱ تا ۶، از آزمون دانکن ($p\text{-value} < 0.05$) بهره جستیم.

نتایج و بحث

کدورت و کل مواد جامد پساب ثانویه به ترتیب برابر با $0.16\ NTU$ و $16.18\ mg/l$ بود و pH و EC آن به ترتیب برابر با 7.7 و $0.90\ ds/m$ بود نتایج آنالیز خصوصیات شیمیایی پساب ثانویه قبل از گندزدایی و تیمار شده در جدول شماره (۲) آورده شده است.

جدول ۲: خصوصیات شیمیایی پساب قبل و بعد از اعمال پلاسما سرد اتمسفری

	BOD(mg/l)	COD(mg/l)	PH	EC(mS/cm)
Control	221.37 a ± 0.78	387.82 a ± 0.20	7.74 e ± 0.05	0.90d ± 0.00
T1	14.21b ± 0.11	19.54 b ± 0.04	8.61 d ± 0.01	0.91 c ± 0.00
T2	14.07 bc ± 0.08	19.42 b ± 0.02	8.72 c ± 0.01	0.91 c ± 0.00
T3	13.58 cd ± 0.06	19.22 c ± 0.02	8.71 c ± 0.01	0.92 b ± 0.00
T4	13.40 d ± 0.02	18.69 d ± 0.04	8.82 b ± 0.01	0.92 b ± 0.00
T5	12.07 e ± 0.06	18.29 e ± 0.01	8.91 a ± 0.01	0.93 a ± 0.00
T6	13.50 d ± 0.10	18.65 d ± 0.05	8.81 b ± 0.01	0.92 b ± 0.00

* حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در بین تیمارهای مختلف می باشند.

درصد کاهش مقادیر BOD و COD پساب ثانویه پس از اعمال پلاسما در جدول ۲ گزارش شده است. به جز تیمار ۴ و ۶ اختلاف معنی دار در سطح ۰.۰۵ بین تیمارها گزارش شده است. که در بهترین حالت (تیمار ۵) به ترتیب ۹۴/۵٪ و ۹۵/۲٪ مقدار اولیه پساب خام کاهش یافته است. این کاهش را می توان ناشی از یونیزاسیون مولکول های آب و تولید الکترون های آزاد دانست که با آلاینده ها و محصولات اولیه گونه های فعال واکنشی اکسیژنی، پساب و همچنین گونه های ثانویه با عمر کوتاه که از آلاینده ها تشکیل شده اند، واکنش داده و منجر به حذف آلاینده ها از پساب می شوند.

نتایج حاصل از کشت نمونه ها در جدول ۲ گزارش شده است. اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ بین تمامی تیمارها مشاهده می گردد. شمارش کل کلنی ها در روز صفر همه ی تیمارها ۱۰۰٪ کاهش نشان داد و توانستیم میکروارگانیسم ها را حذف کنیم. اما در روز اول رشد مجدد کمترین و بیشترین درصد کاهش به ترتیب مربوط به تیمار ۱ و ۵ با میزان ۳۰٪ و ۶۷٪ می باشد. که این مقدار برای روز سوم رشد مجدد به ترتیب مربوط به تیمار ۱ و ۵ با میزان ۲۲٪ و ۵۲٪ کاهش گزارش شده است. اما اشرشیا کلی نیز در روز صفر توانست کاهش ۱۰۰٪ را داشته باشد ولی در روز اول رشد مجدد کمترین و بیشترین درصد کاهش اشرشیا کلی به ترتیب مربوط به تیمار ۱ و ۵ با میزان ۳۴٪ و ۸۲٪ بوده که این مقدار برای روز سوم رشد مجدد به ترتیب مربوط به تیمار ۱ و ۵ با میزان ۲۸٪ و ۵۷٪ کاهش در اشرشیا کلی ملاحظه شد. جدول ۳ نشان می دهد، در ولتاژ کاری ابتدایی (۱۸ kV) هر چه زمان زمان پلاسمادهی افزایش یافته، نقش بهتری را در از بین بردن باریکروبی کل و اشرشیا و همچنین رشد مجدد آن در روزهای ۱ و ۳ روز پس از تیمار پلاسما ایفا کرد و تیمار ۲ از تیمار ۱ عملکرد بهتری داشت نتیجه می گیریم با افزایش زمان عملکرد و بازدهی گونه های فعال واکنشی بهتر بوده است. در بین همه تیمارها، تیمار ۵ بهترین شرایط را داراست. هم خصوصیات شیمیایی (جدول ۲) و هم شمارش بار میکروبی کل و اشرشیا کلی تا حد قابل قبولی کاهش یافته و حتی برای رشد مجدد در روز ۱ و ۳ نیز بهتر از تیمارهای دیگر عمل کرده است. که به دلیل تشکیل گونه های واکنشی اکسیژنی قوی و کارآمد می باشد. اما در تیمار ۶ با توجه به افزایش زمان تیمار نتایج از تیمار ۵ ضعیف تر بوده که می تواند ناشی از آسیب به میکروارگانیسم های مفید و تخریب سلولی آنها باشد.

جدول ۳. مقایسه میانگین شمارش جمعیت کل (log cfu/ml) و جمعیت اشرشیاکلی (log cfu/ml) در بین تیمارهای مختلف پلاسما و زمان‌های مختلف (روز) اینکوباسیون نمونه‌های فاضلاب

Treatments	Time of incubation (Day)			
	0	1	3	
Total count (log cfu/ml)	Control	4.85 B ^a ± 0.01	5.67 B ^a ± 0.05	6.85 A ^a ± 0.01
	T1	0.00 c ^b ± 0.00	3.95 B ^b ± 0.01	5.29 A ^b ± 0.03
	T2	0.00 c ^b ± 0.00	3.18 B ^c ± 0.18	5.11 A ^c ± 0.06
	T3	0.00 c ^b ± 0.00	2.54 B ^d ± 0.08	4.86 A ^d ± 0.07
	T4	0.00 c ^b ± 0.00	1.99 B ^f ± 0.02	4.27 A ^e ± 0.16
	T5	0.00 c ^b ± 0.00	1.87 B ^f ± 0.11	3.25 A ^f ± 0.18
	T6	0.00 c ^b ± 0.00	2.20 B ^e ± 0.14	4.90 A ^d ± 0.08
E. coli (log cfu/ml)	Control	3.76 c ^a ± 0.02	4.57 B ^a ± 0.05	5.95 A ^a ± 0.00
	T1	0.00 c ^b ± 0.00	2.58 B ^b ± 0.19	4.29 A ^b ± 0.05
	T2	0.00 c ^b ± 0.00	2.08 B ^c ± 0.09	4.44 A ^b ± 0.26
	T3	0.00 c ^b ± 0.00	1.64 B ^d ± 0.11	3.62 A ^c ± 0.41
	T4	0.00 c ^b ± 0.00	1.03 B ^e ± 0.05	2.58 A ^d ± 0.24
	T5	0.00 c ^b ± 0.00	0.79 B ^f ± 0.08	2.55 A ^d ± 0.27
	T6	0.00 c ^b ± 0.00	1.15 B ^e ± 0.11	3.54 A ^e ± 0.07

* حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در بین تیمارهای مختلف می‌باشند.

** حروف بزرگ در هر سطر نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در بین زمان‌های مختلف می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نمونه پساب ثانویه از تصفیه‌خانه شهرک اکباتان جهت اعمال پلاسما سرد اتمسفری از نوع اسپارک جمع‌آوری شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پساب ثانویه قرائت شد و سپس نمونه تحت ولتاژ و زمان‌های مختلف در معرض پلاسما اسپارک قرار گرفتند. در ابتدا ولتاژ ۱۸ kV و دو زمان ۵ و ۷ دقیقه (تیمار ۱ و ۲) انتخاب شد و برای تیمارهای باقیمانده از روش نوین ترکیبی یعنی اعمال بدون درنگ پلاسما ۲۰ kV با منبع تغذیه تسلا کوپل با زمان‌های ۳ و ۵ دقیقه (تیمار ۳، ۴، ۵ و ۶) بر روی تیمار ۱ و ۲ استفاده گردید. نتیجه‌گندزدایی با استفاده از تعیین تعداد کل‌کلنی‌ها و اشرشیا کلی به عنوان شاخص عوامل بیماری‌زای باکتریایی قبل و بعد از هر تیمار بررسی و رشد مجدد آنها همگی در سه تکرار تعیین گردید. در دو تیمار اول که ولتاژ اعمال شده یکسان بود با افزایش زمان تیمار نتایج بهتری حاصل گردید. در حالت ترکیبی و اعمال بلافاصله پلاسما با منبع تغذیه تسلا کوپل تیمار ۵ بهترین عملکرد را در مقابل بقیه موارد دارا بود که این نتیجه وابسته به تعداد، انرژی گونه‌های فعال واکنشی اکسیژنی و واکنش‌های زنجیره‌وار فراوان در این تیمار به نسبت مابقی دانست. مشاهده شد پلاسما اعمال شده بر روی پساب تا حد قابل توجهی می‌تواند خصوصیات کیفی نظیر BOD و COD را به ترتیب ۹۴/۵٪ و ۹۵/۲٪ کاهش داده و در حد مجاز برای آبیاری در کشاورزی قرار گیرد تیمار ۵ توانست ۱۰۰٪ کل‌کلنی‌ها و اشرشیا کلی را در همان روز کاهش دهد هر چند حتی این تیمار نیز نتوانست از رشد مجدد باکتری اشرشیا کلی جلوگیری کند، اما نقش قابل توجهی در مهار و کاهش باریمیکروبی ایفا کرد و رشد مجدد اشرشیا کلی را تا ۸۲٪ در روز اول و ۵۷٪ در روز سوم مهار کرد.



مراجع

1. Hosseinian M, Treated wastewater application, Tehran: Oloume Rouz Pub. 2002; p: 30-8(In Persian)
2. Vice President for Strategic Planning and Supervision, Environmental Criteria for Reuse of Recycled Water and Wastewater, Publication No. 535 of the Office of the Executive Technical System, 2010(In Persian)
3. Jamab Consulting Engineers Company. Study plan for adaptation to arid and semi-arid climate. Report of water required for urban and rural liquor. (February 2004), Management and Planning Organization of the country. (in Persian)
4. 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.
5. W.S. El-Sayed, S.A. Ouf, A.A.H. Mohamed, Deterioration to extinction of wastewater bacteria by non-thermal atmospheric pressure air plasma as assessed by 16S rDNA- DGGE fingerprinting, *Front Microbiol.* 6, 1098 (2015).
6. A.A. Joshi, B.R. Locke, P. Arce, W.C. Finney, Formation of hydroxyl radicals, hydrogen peroxide and aqueous electrons by pulsed streamer corona discharge in aqueous solution, *J. Hazard. Mater.* 41(1), 3-30 (1995).
7. A. Bogaerts, E. Neyts, R. Gijbels, J. van der Mullen, Gas discharge plasmas and their applications, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 57(4), 609-658 (2002).
8. B.R. Locke, M. Sato, P. Sunka, M.R. Hoffmann, J.S. Chang, Electrohydraulic discharge and nonthermal plasma for water treatment, *Ind. Eng. Chem. Res.* 45(3), 882-905 (2006).
9. B. Jiang, J. Zheng, S. Qiu, M. Wu, Q. Zhang, Z. Yan, Q. Xue, Review on electrical discharge plasma technology for wastewater remediation, *CHEM ENG J.* 236, 348-368 (2014).
10. M.A. Malik, Water Purification by Plasmas: Which Reactors are Most Energy Efficient, *Plasma Chem Plasma Process.* 30, 21-31 (2010).
11. L. Han, S. Patil, K. M. Keener, P.J. Cullen, P. Bourke, Bacterial inactivation by highvoltage atmospheric cold plasma: influence of process parameters and effects on cell leakage and DNA, *J. Appl. Microbiol.* 116 (4), 784-794 (2014).
12. M. Janex, P. Savoye, M. Roustan, Z. Do-Quang, J.M. Lâiné, V. Lazarova, Wastewater Disinfection by Ozone: Influence of Water Quality and Kinetics Modeling, *Ozone science & engineering*, 22(2), 113-121(2000), doi:10.1080/01919510008547215
13. X. Liu, F. Hong, Y. Guo, J. Zhang, J. Shi, Sterilization of *Staphylococcus aureus* by an atmospheric non-thermal plasma jet, *Plasma Sci. Technol.* 15 (5), 439-442 (2013).