یازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran
senaconf.ir

تخریب آلاینده های مقاوم آنتی بیوتیک در فاضلاب توسط پلاسمای سرد اتمسفری

رضا آهویی[۱] ،زینب طهماسبی[۲]

[۱] کارشناسی ارشد از دانشگاه صنعتی سهند، دانشکده علوم پایه، رشته مهندسی پلاسما(ahouei.reza.ilam@gmail.com)
[۲] پسادکترا از دانشگاه شهید بهشتی، داشکده علوم شیمی و نفت، رشته شیمی تجزیه(zainab_tahmasbi@yahoo.com)

چکیده

هر ساله مقدار قابل توجهی فاضلاب و پساب خانگی و صنعتی حاوی آلاینده‌های رنگی و آنتی‌بیوتیک‌ها تولید می‌شود که منابع ارزشمند آب را آلوده می‌کنند. با توجه به اینکه این آلاینده‌ها به راحتی قابل تجزیه نیستند لازم است که پساب‌ها پیش از تخلیه به محیط زیست به طور کامل تصفیه گردند. در این پژوهش، از روش جدید پلاسمای دی الکتریک (DBD) بهبود یافته به منظور حذف مؤثر آنتی بیوتیک سولفاسالازین به عنوان یک آلاینده نوظهور، استفاده شد. برای این منظور، یک محلول آبی از آنتی بیوتیک سولفاسالازین با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر (ppm) تهیه شد و در مدت زمان ۶۰ دقیقه تحت تأثیر پلاسمای DBD با شرایط فیزیکی متغیر در فشار ثابت قرار گرفت. راندمان حذف آنتی بیوتیک سولفاسالازین از آب در شرایط فیزیکی متغییر، بعد از مدت زمان مذکور، به‌ترتیب ۸۸٪، ۹۴٪ و ۹۹٪ به‌دست آمد.

واژه های کلیدی: پلاسمای سرد اتمسفری، سولفاسالازین، پساب، تخریب آنتی‌بیوتیک.

۱- مقدمه

به طور کلی، تقریبا ۷۰ تا ۹۰ درصد از وزن موجودات زنده را آب تشکیل می‌دهد، به‌گونه‌ای که زندگی بدون آب تمیز را نمی توان متصور شد. از آنجایی که آب فراوان‌ترین ماده‌ی اولیه موجود در جهان می‌باشد، بنابراین، کیفیت این منبع ارزشمند مستقیماً بر زندگی طبیعی انسان تأثیر می‌گذارد. به طور کلی، آلودگی آب به تخریب و افت کیفیت آب اشاره دارد[1, 2] .

طی چند دهه گذشته، پساب‌های صنعتی به همراه فاضلاب خانگی، منابع اصلی آلاینده‌های رنگی بوده‌اند که به طور نامناسب در محیط زیست دفع می‌شوند و به راحتی قابل تجزیه نیستند. روش‌های مرسوم تصفیه آب، مانند جذب توسط کربن فعال، رسوب و جداسازی شیمیایی، روش های غیرمخربی هستند که تنها آلاینده‌ها را از یک فاز به فاز دیگر منتقل می‌کنند و باعث آلودگی‌های ثانویه می‌گردند و نیاز به مراحل اضافه‌ای برای تصفیه کامل دارند [3, 4] .

حذف آلاینده‌های رنگی و آنتی بیوتیک‌ها از پساب‌های خانگی و صنعتی از این جهت حائز اهمیت است که این نوع از آلاینده نه تنها دارای ماهیت سمی و خطرناک می‌باشد، بلکه از سوی دیگر به دلیل تاثیری که بر شفافیت آب می‌گذارد، باعث اختلال در زندگی آبزیان می‌گردد. بسیاری از این آلاینده‌های رنگی و آنتی‌بیوتیک به شدت مستعد ایجاد سرطان بوده و در اکثر موارد، عامل بروز جهش‌های ژنتیکی در موجودات زنده می‌باشند. این نوع از آلاینده‌ها به دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی همچون سمیت در غلظت‌های پایین (کمتر از یک میلی‌گرم بر لیتر(ppm))، ماندگاری و ثبات شیمیایی بالا در محیط زیست و تاثیرگذاری بر روی غدد و اندام موجودات زنده، لازم است که پیش از تخلیه به محیط زیست به طور کامل تصفیه گردند. این نوع از آلاینده به دلیل ساختار آروماتیکی خود در برابر تجزیه بیولوژیکی مقاوم هستند و برای حذف کامل آن‌ها از محیط نیاز به روش‌های متفاوتی نسبت به روش‌های مرسوم می‌باشد [5, 6].

فرآیند پلاسمای سرد اتمسفری از جمله روش‌های جدیدی می‌باشد که امروزه مورد توجه محققان مختلفی از سراسر دنیا قرار گرفته است. پلاسمای سرد به دلیل پیشرفت و تولید رادیکال‌های فعال و آزاد می‌توانند باعث حذف آلودگی، تخریب آنتی بیوتیک‌ها و حذف رنگ در آب و پساب فاضلابی شوند.

در سال ۲۰۱۷، سوخوال و همکاران[7] یک جت پلاسمای تخلیه میکرو (MDPJ) با هندسه ی ساده و مصرف برق کم طراحی کردند. سیستم تخلیه آن‌ها شامل یک منبع تغذیه ولتاژ بالا، الکترود ولتاژ بالا، الکترود زمینی، لوله دی الکتریک و راکتور توسعه یافته، می‌باشد. سوخوال و همکاران نشان دادند که تولید پایدار پلاسما و گونه‌های فعال مانند RONS کلید تصفیه آب با استفاده از MDPJ است. وقتی که یک گاز به الکترود داخلی وارد می‌شود، بدلیل افزایش جریان گاز، سرعت گاز افزایش یافته که باعث افزایش طول جت پلاسما می‌شود.

در سال ۲۰۱۸، سوراژ و همکاران [8] تصفیه آب را براساس تکنولوژی پلاسما طراحی کردند. آن‌ها نشان دادند که میزان جریان گاز بهینه شده براساس غلظت‌های تولید شده از NO_2، NO و H_2O_2، ۴ لیتر در دقیقه است. نمونه اولیه‌ی پاتوژن‌ها با قرار دادن در برابر جریان پلاسما و تابش اشعه ماورا بنفش از آب حذف شدند. برای تبدیل آب آلوده به مخلوط گاز و مایع، از پمپ آب استفاده‌کردند که آب آلوده را با سرعت زیاد پمپاژ می‌کند. این سیستم تصفیه آب جدید پلاسما کارآمدتر و ارزانتر از سایر روش‌های تصفیه فاضلاب می‌باشد.

در این مطالعه، به منظور حذف موثر آلاینده سولفاسالازین موجود در پساب، از روش جدید پلاسمای DBD بهبود یافته استفاده شد. نتایج به‌دست آمده، نشان‌دهنده‌ی کارایی بالای روش ارائه شده در حذف آلاینده‌ها می‌باشد.

۲- موادوروش‌ها

۲-۱ آلاینده هدف: سولفاسالازین

داروی سولفاسالازین در مواجهه با نوع خاصی از بیماری روده به نام کولیت زخمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. داروی سولفاسالازین این بیماری را درمان نمی‌کند اما به کاهش علائم آن مانند تب، درد معده، اسهال و خون‌ریزی مقعدی کمک می‌کند. هم‌چنین، پس از عود کردن بیماری، سولفاسالازین می‌تواند برای افزایش زمان بین حملات بیماری استفاده شود. ناراحتی معده، حالت تهوع، استفراغ، از دست دادن اشتها، سردرد، سرگیجه و خستگی غیر معمول از جمله عوارض جانبی مصرف داروی سولفاسالازین است. علاوه بر این، مصرف داروی سولفاسالازین ممکن است رنگ پوست یا ادرار بیمار را به رنگ کهربایی تغییر دهد. هم‌چنین، گزارش شده‌است که مصرف داروی سولفاسالازین ممکن است موجب ناباروری موقت مردان شود. مشخصات فیزیکی و شیمیایی داروی سولفاسالازین در جدول شماره (۱) آورده شده‌است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی داروی سولفاسالازین.

فرمول شیمیایی	ویژگی	وزن مولکولی	ماکزیمم طول موج (nm)
$C_{18}H_{14}N_4O_5S$	محلول در آب و حل شونده	۳۹۸,۳۹۴ $g.mol^{-1}$	۳۱۰

۲-۲ دستگاهوری

پلاسمای استفاده شده در این نوع دستگاه از نوع پلاسمای سرد اتمسفری(پلاسماجت) می‌باشد. گاز مورد نیاز برای آزمایش‌ها توسط یک کپسول فراهم شد و به منظور تنظیم دبی گاز خروجی از یک شیر کنترل استفاده شد.

در این مطالعه برای ایجاد پلاسما از راکتور DBD که یکی از کاربردی‌ترین راکتورها برای ایجاد پلاسمای غیرحرارتی است، استفاده گردید. راکتور مورد استفاده از جنس شیشه بوده و دارای طول 10 سانتی‌متر, قطر6 میلی‌متر و دهانه خروجی 2 میلی‌متر می‌باشد که ورودی گاز با استفاده از دهانه که در وسط آن قرار دارد به آن متصل می‌شود. یک میله از جنس فولاد ضد زنگ با قطر ۲ سانتی‌متر و طول ۶ سانتی‌متر به منظور ایجاد میدان مغناطیسی در جت پلاسما مورد استفاده قرار گرفت. جریان به کار رفته شده توسط یک منبع تغذیه ۰-۳۰ ولت با جریان مستقیم (DC) که به یک منبع تغذیه تقویت کننده ۰-۱۸ کیلو ولت متصل می‌باشد ایجاد گردید. از اسیلوسکوپ برای نمایش جریان DC، ولتاژ و فرکانس مورد نظر استفاده شد. برای ثابت نگه داشتن جت پلاسما از گیره و آویز استفاده گردید. نمای کلی از دستگاه پلاسماجت در شکل (۱) نشان داده شده‌است. به‌منظور آنالیز آلاینده موردنظر، از دستگاه اسپکتروفتومتر(Uv-Vis-1800) استفاده شد.

شکل ۱: نمای کلی از دستگاه پلاسماجت.

۲-۳ فرایند تخریب آنتی‌بیوتیک با استفاده از پلاسماجت

به منظور راه‌اندازی دستگاه پلاسما جت، منبع تغذیه ۰-۳۰ ولت متصل به منبع تغذیه تقویت شده را با استفاده از گیره به میله فولادی وصل کرده و میله داخل راکتور شیشه‌ای دارای یک ورودی و یک خروجی قرار داده شد که از دهانه ورودی، گاز اکسیژن وارد شده که به همراه ولتاژ و فرکانس اعمالی به میله فولادی باعث ایجاد پلاسما جت شده و خروجی راکتور شیشه‌ای داخل بشر حاوی غلظت مشخصی از نمونه تحت همزدن قرار گرفت تا پلاسماجت تولید شده به نمونه اعمال شود. بعد از اعمال پلاسماجت به نمونه به مدت یک ساعت، مقدار آلاینده باقیمانده در نمونه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر(Uv-Vis-1800) اندازه‌گیری شد و درصد حذف آلاینده توسط پلاسماجت، با استفاده از فرمول زیر به‌دست آمد:

$$\eta\% = \left(1 - \frac{C_t}{C_0}\right) \times 100$$

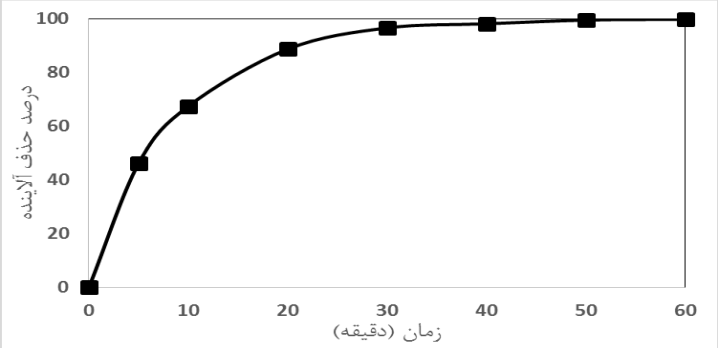
که در آن C_0 و C_t به ترتیب بیانگر مقدار اولیه آلاینده قبل از اعمال پلاسماجت و مقدار آلاینده بعد از اعمال پلاسماجت در زمان t می باشد.

۳- بحث و نتایج

در این مطالعه، شرایط عملیاتی ایجاد پلاسماجت با تغییر دادن همزمان دو پارامتر ولتاژ و فرکانس به منظور به‌دست آوردن بالاترین راندمان حذف آلاینده در مدت زمان یک ساعت مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۱ میزان حذف آلاینده در ولتاژ ۱۲ ولت و فرکانس ۱۳ کیلوهرتز

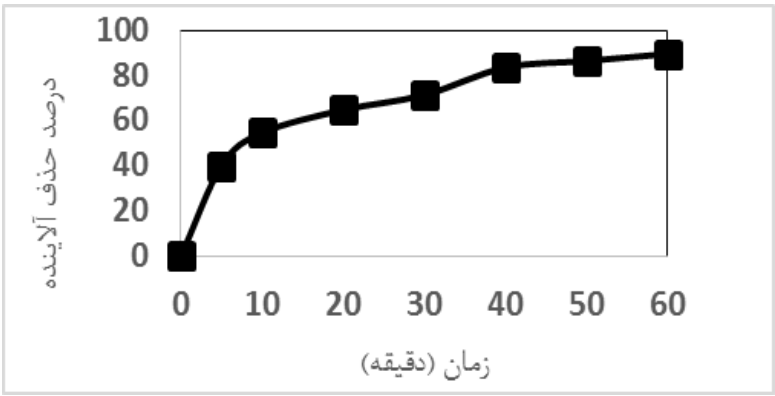
همان‌طور که از شکل ۲ پیداست، با اعمال ولتاژ ۱۲ ولت و فرکانس ۱۳ کیلوهرتز، میزان حذف آنتی بیوتیک سولفاسالازین در آب در مدت زمان ۶۰ دقیقه ۹۹٪ به‌دست آمد که نشان دهنده کارایی بسیار بالای پلاسماجت طراحی شده در تخریب آلاینده مدنظر می‌باشد.



شکل ۲: میزان حذف آلاینده در ولتاژ ۱۲ ولت و فرکانس ۱۳ کیلوهرتز.

۳-۲ میزان حذف آلاینده در ولتاژ۱۴ ولت و فرکانس ۱۶ کیلوهرتز

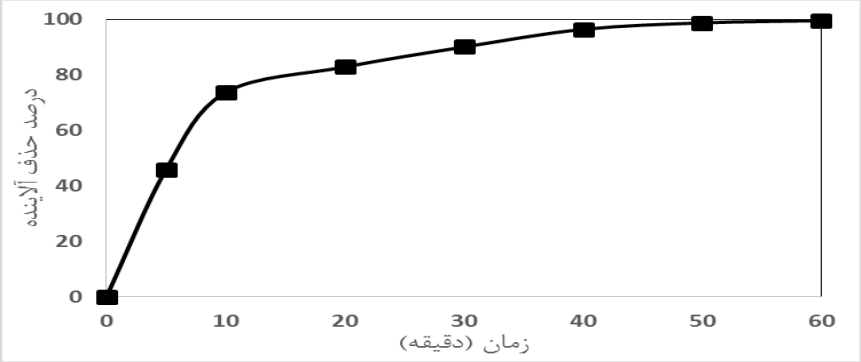
نتایج مربوط به ولتاژ ۱۴ ولت و فرکانس ۱۶ کیلوهرتز در شکل ۳ نشان داده‌شده‌است که بیانگر حذف ۹۴٪ از آنتی بیوتیک سولفاسالازین در آب در مدت زمان ۶۰ دقیقه می باشد.



شکل۳: میزان حذف آلاینده در ولتاژ۱۴ ولت و فرکانس ۱۶ کیلوهرتز.

۳-۳ میزان حذف آلاینده در ولتاژ ۱۱ ولت و فرکانس ۱۴ کیلوهرتز

در شکل۴ نتایج مربوط به ولتاژ ۱۱ ولت و فرکانس ۱۴ کیلوهرتز نشان داده‌شده است و مشاهده می‌شود که در این ولتاژ و فرکانس مشخص، میزان حذف آنتی بیوتیک سولفالازین در آب در مدت زمان ۶۰ دقیقه ۸۸٪ می باشد.



شکل ۴: میزان حذف آلاینده در ولتاژ۱۱ولت و فرکانس ۱۴ کیلوهرتز.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای حذف آنتی‌بیوتیک سولفاسالازین از پساب فاضلابی، از روش پلاسما جت استفاده شد. نتایج حاصل از آنالیز اسپکتروفتومتر(Uv-Vis-1800) نشان‌دهنده حذف ۹۹٪ آنتی‌بیوتیک سولفاسالازین می‌باشد که نشان می‌دهد پلاسماجت در تخریب آنتی‌بیوتیک سولفاسالازین بسیار موفقیت‌آمیز عمل کرده‌است. تاثیر شرایط عملیاتی ایجاد پلاسما بر میزان تخریب آلاینده مدنظر مورد بررسی قرار گرفت و برای این نوع پلاسماجت، در ولتاژ ۱۲ ولت و فرکانس ۱۳ کیلوهرتز بیشترین بازده حذف سولفاسالازین از پساب فاضلابی و آب به‌دست آمد. کاهش هزینه تصفیه آب در روش پلاسما جت در مقایسه با سایر روش‌های تصفیه آب و فاضلابی بسیار موردتوجه می‌باشد. بنابراین، روش پلاسما جت یک روش نوین مقرون به صرفه و امیدوار کننده در راستای حذف آنتی بیوتیک‌ها می‌باشد.

۵- منابع

۱. Tanaka, K., K. Padermpole, and T. Hisanaga, *Photocatalytic degradation of commercial azo dyes.* Water research, 2000. **34**(1): p. 327-333.

۲. Galindo, C., P. Jacques, and A. Kalt, *Photooxidation of the phenylazonaphthol AO20 on TiO2: kinetic and mechanistic investigations.* Chemosphere, 2001. **45**(6-7): p. 997-1005.

۳. Yang, G., M. Fan, and G. Zhang, *Emerging contaminants in surface waters in China—a short review.* Environmental Research Letters, 2014. **9**(7): p. 074018.

٤. Rivera-Utrilla, J., et al., *Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A review.* Chemosphere, 2013. **93**(7): p. 1268-1287.

٥. Tizaoui, C. and N. Grima, *Kinetics of the ozone oxidation of Reactive Orange 16 azo-dye in aqueous solution.* Chemical engineering journal, 2 :(۲)۱۷۳ .۰۱۱p. 463-473.

٦. Geissen, V., et al., *Emerging pollutants in the environment: a challenge for water resource management.* International soil and water conservation research, 2015. **3**(1): p. 57-65.

۷. Ekezie, F.-G.C., D.-W. Sun, and J.-H. Cheng, *A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends.* Trends in Food Science & Technology, 2017. **69**: p. 46-58.

۸. Bourke, P., et al., The *potential of cold plasma for safe and sustainable food production.* Trends in biotechnology, 2018. **36**(6): p. 615-626.