بنیاد ملی نخبگان

۸

پیشنهاده

طرح هسته های مسئله محور علمی، پژوهشی و فناورانه

دوره هشتم

باسمه تعالی

طراحی و ساخت سیستم پلاسما/حفره‌زایی هیدرودینامیکی برای حذف سریع آلاینده‌های آب و فاضلاب

استاد خبره:

دکتر عزیز حبیبی ینگجه

۱ محل فعالیت خبره:

دانشگاه محقق اردبیلی-دانشکده علوم‌پایه-گروه آموزشی شیمی

۲ لینک صفحه شخصی خبره:

http://uma.ac.ir/cv.php?slc_lang=fa&sid=۱&mod=scv&cv=۵۳۵
https://www.researchgate.net/profile/Aziz_Habibi-Yangjeh
https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=۰٪۲C۵&q=habibi+yangjeh&oq=habibi

۳ لینک فیلم توضیح پروژه توسط خبره در سایت آپارات:

۴ شرح موضوع طرح پیشنهادی:

در سال‌های اخیر مشکل جهانی کاهش ذخایر آب شیرین اهمیت قابل توجهی به تحقیقات در مورد تصفیه آب و بازچرخانی آن برای استفاده مجدد داده است. لذا استفاده از روش‌های ارزان و مؤثر تصفیه آب و فاضلاب از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. با توجه به اهمیت این موضوع، بازارهای فناوری های مقرون به صرفه و مؤثر تصفیه آب، روز به روز در سراسر جهان افزایش می‌یابد. در این راستا، کارایی روش‌های سنتی تصفیه آب از جمله جذب فیزیکی، اکسیداسیون بیولوژیکی و انعقاد شیمیایی به دلیل مصرف زیاد انرژی، تولید آلودگی ثانویه، چرخه های طولانی مدت تصفیه، هزینه‌ی عملیاتی بالا و عدم کارایی مؤثر در برابر ساختارهای پیچیده مولکولی، از نظر زیست محیطی و اقتصادی محدود می‌شود. لذا غلبه بر کاستی‌های اقتصادی و پیامدهای نامطلوب زیست محیطی روش‌های سنتی تصفیه آب از اهمیت بالایی برخوردار است. در سال‌های اخیر، فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته که از تولید گونه‌های فعال نظیر رادیکال‌های هیدروکسیل با غلظت بالا برای از بین بردن مواد مضر در فاضلاب استفاده میکند، توجه روزافزونی را به خود جلب کرده است. فناوری پلاسما به عنوان یک فناوری اکسیداسیون پیشرفته شناخته شده است. در این فرایندها پلاسمای تولید شده باعث می‌شود ذرات اکسیژن‌دار فعال گوناگونی تولید شده و با مواد آلی موجود در فاضلاب‌ها واکنش دهند و در نتیجه باعث تخریب آن‌ها می‌شوند. در این فناوری از یک دستگاه پلاسما برای ایجاد ذرات اکسیدکننده قوی استفاده می‌شود. یکی دیگر از فناوری

نوظهور اکسیداسیون پیشرفته، حفره‌زایی هیدرودینامیکی می باشد که براساس تغییر فشار کار می کند. این پدیده شامل تشکیل سریع، رشد و فروپاشی حفره‌ها در مقیاس میلی ثانیه است که مقادیر قابل توجهی انرژی پس از متلاشی شدن حفره‌ها آزاد می کند. در این فرایند، تغییر فشار باعث می‌شود که مایع به زیر فشار بخار رسیده و حباب‌هایی در ابعاد میکرومتری تا نانومتری تشکیل دهد. فروپاشی ناگهانی حباب‌ها منجر به انتقال گاز داخلی و آزاد شدن زیاد انرژی می‌شود که به صورت محلی دما را تا چند هزار درجه کلوین افزایش می‌دهد. این انرژی زیاد آزاد شده باعث تخریب محدوده وسیع از آلاینده‌های شیمیایی می‌شود. لذا در این طرح، با توجه به مزایای فناوری‌های پلاسما و حفره زایی هیدرودینامیکی، از تجمیع این فناوری ها یک سیستم جدید با کارایی بالا برای اولین بار در کشور برای حذف آلاینده‌های آب و فاضلاب‌ها طراحی و ساخته خواهد شد. در ادامه کارایی دستگاه ساخته شده برای تخریب تعدادی از آلاینده‌های شیمیایی و میکروبی مورد بررسی قرار خواهد گرفت [۳-۱] .

۵ هدف گیری خاص این طرح:

هدف از اجرای این طرح پژوهشی و فناوری، طراحی و ساخت یک سیستم کارآمد با ادغام فناوری‌های پلاسما و حفره زایی هیدرودینامیکی با روشی ساده و ارزان قیمت، و بکارگیری برای حذف آلاینده‌های آب نظیر آلاینده‌های آلی، دارویی و نیز غیرفعال‌سازی میکروبی می‌باشد. کارایی و اثربخشی سیستم ساخته شده با حذف چندین آلاینده شیمیایی آلی، دارویی و میکروبی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۶ اهمیت انجام این طرح برای کشور:

دسترسی به آب مناسب برای زندگی امری ضروری است و غلبه بر کمبود آب یکی از چالش‌های بزرگ در سراسر جهان است. با تخلیه مواد شیمیایی مختلف با غلظت‌های مختلف در آب از کارخانه‌ها، بیمارستان‌ها، و منازل، تصفیه آب رها شده به طبیعت بیش از پیش اهمیت پیدا نموده است. با توجه به مشکلات بیان شده، پژوهش و بررسی در زمینهٔ ارائهٔ راهکارهای مناسب و توسعهٔ فناوری‌های جدید برای تصفیه‌ی کارآمد آب و فاضلاب بسیار ضروری می‌باشد. لذا تلاش‌ها در این راستا می‌تواند به حل مشکل کمبود آب شیرین و نیز استفاده مجدد از فاضلاب های مختلف به ویژه فاضلاب‌های صنعتی و شهری کمک نماید.

۷ کارفرما/مشتریان احتمالی پروژه:

مشتریان احتمالی این پروژه کارخانجات نساجی، کارخانجات دارویی، بیمارستان‌ها، شرکت‌های آب و فاضلاب و غیره می‌باشد.

۸ کارهای مشابه انجام شده در داخل یا خارج کشور:

بر اساس بررسی های صورت گرفته، در داخل کشور ادغام فناوری پلاسما و حفره‌زایی هیدرودینامیکی برای تصفیه فاضلاب‌های صنایع و شهری انجام نگرفته است.

در خارج از کشور در چند سال اخیر تحقیقاتی در این زمینه انجام گرفته است که به موارد مهم آن‌ها اشار می‌شود:

در سال ۲۰۲۱، Abramov و همکاران مقاله ای با عنوان تصفیه آب در حالت جریان تحت حفره‌زایی هیدرودینامیکی و پلاسما منتشر کرده‌اند [۴]. در این کار آب آلوده با حفره‌زایی هیدرودینامیکی و تخلیه پلاسما باعث غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها (باکتری اشرشیاکلی) و تجزیه کامل آلاینده آلی متانول شده است. مایع تیمار شده تحت تأثیر حفره‌زایی، باعث تولید رادیکال‌ها می‌شود، به طوری که پس از پایان تست، اکسیداسیون موثر در مایع تیمار شده انجام می‌شود.

در پژوهش دیگر انجام شده توسط Abramov و همکاران، تجزیه موثر تتراسایکلین و سیپروفلوکساسین در زمان‌های کوتاه توسط سیستم جریان تحت حفره‌زایی هیدرودینامیکی و پلاسما انجام گرفته است [۵]. در این کار تحقیقاتی تشکیل گونه های اکسیژن فعال در طی اعمال پلاسما نشان داده شد. رادیکال‌های فعال تشکیل‌شده در آب حتی پس از پایان فرایند همچنان بر آنتی‌بیوتیک‌ها تأثیر می‌گذارند. کارایی سیستم با استفاده از نانوکاتالیست سریم اکسید افزایش داده شده است، به طوری که که غلظت گونه های اکسیژن فعال با عمر طولانی به طور قابل‌توجهی با افزودن سریم اکسید افزایش می‌یابد.

در سال ۲۰۲۳، Filipi´ و همکاران، با ترکیب پلاسما با سوپر حفره‌زایی، کارایی آن برای آلودگی زدایی آب با تاکید بر غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها انجام داده‌اند. غیرفعال سازی بالای باکتریوفاژ MS۲ پس از تیمار ۰،۴۳ لیتر آب در حال چرخش تا ٤ دقیقه به دست آمده است. عوامل کلیدی در غیرفعال سازی، گونه های پلاسمای تولید شده بودند که به RNA ویروس آسیب رساندند. در یک بررسی دیگر نشان داده شد که آب تصفیه شده اثرات نامطلوب بر فیزیولوژی گیاه سیب زمینی ایجاد نکرده است [۶].

Wu و همکاران، از یک فرآیند جدید پلاسمای اکسیژن به کمک حفره‌زایی هیدرودینامیکی، برای افزایش تولید و استفاده از رادیکال‌های هیدروکسیل در تخریب آلاینده‌های آلی استفاده کردند [۷]. در این مطالعه اثرات شدت حفره زایی و سرعت جریان اکسیژن در تولید رادیکال هیدروکسیل با استفاده از اسید ترفتالیک به عنوان یک پروب فلورسنت استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که تزریق ۳ لیتر اکسیژن در دقیقه، بازده تولید رادیکال هیدروکسیل را ٦ برابر با تنها ۱/۲ برابر افزایش توان افزایش می‌دهد، در حالی که تزریق ۰/۵ لیتر اکسیژن در دقیقه، تولید رادیکال هیدروکسیل را بهبود نمی‌دهد. نتایج حاصل از این کار تحقیقاتی نشان داد که ۲۰ میلی گرم در لیتر رنگ کارمین نیل (به عنوان یک آلاینده مدل) در ۵ لیترآب در عرض ۲ دقیقه پس از یک واکنش مرتبه اول تخریب می‌شود.

در سال ۲۰۲۳ مقاله‌ای توسط Qin و همکاران منتشر شده است که در آن ترکیبی از فرآیند پلاسما با راکتور جریان برخورد حفره‌ای برای تخریب رنگ متیلن بلو استفاده شده است [۸]. نتایج نشان می‌دهد که تحت فشار ۱/٤۰ مگاپاسکال

و فاصله برخورد ۴۰ میلی‌متر و با غلظت محلول بهینه که ۷۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر بوده است، راکتور جریان برخورد حفره ای ۵۲/۸۳ درصد از آلاینده مذکور را تخریب کرده است که دو برابر بیشتر از حفره‌زایی نوسانی به تنهایی بوده است. اما ترکیب یک دستگاه پلاسما با یک راکتور جریان برخورد حفره ای منجر به نرخ تخریب ۹۴/۰۶ درصد از آلاینده متیلن بلو در ۶۰ دقیقه شده است.

حفره‌زایی هیدرودینامیکی همراه با یک سیستم تخلیه پلاسما، برای تخریب ترکیبات دارویی در آب آشامیدنی، توسط Pereira و همکاران گزارش شده است [۹]. در این کار حباب‌های تولید شده توسط حفره‌زایی هیدرودینامیکی مسیری را برای هدایت بار در طول تخلیه پلاسما فراهم کرده است. اثر هم افزایی حفره‌زایی هیدرودینامیکی و سیستم تخلیه پلاسما باعث تولید رادیکال های هیدروکسیل، انتشار نور UV و امواج ضربه ای برای تخریب مترانیدازول شده است. نتایج تجربی نشان داده می دهد که ۱۴ درصد از آلاینده دارویی مترانیدازول در ۱۵ دقیقه توسط حفره‌زایی هیدرودینامیکی تخریب شده است در حالی که ۹۰ درصد از همین آلاینده با ترکیب سیستم‌های حفره‌زایی هیدرودینامیکی و پلاسما شده حذف می‌شود.

در مطالعه‌ای که توسط Shahsavari و همکاران انجام شده است، حفره‌زایی هیدرودینامیکی در یک لوله با آب فعال شده پلاسما در یک سیستم پیوسته برای تخریب دو آنتی بیوتیک رایج (سولفاتیازول و نورفلوکساسین) و یک رنگ آزو (متیلن بلو) به کار برده شده است [۱۰]. حفره‌زایی هیدرودینامیکی انتقال جرم گونه‌های فعال تولید شده از تخلیه پلاسمای سرد از گاز به مایع را با تشکیل و فروپاشی میکروحباب‌های حفره‌ای افزایش می‌دهد. در این کار تحقیقاتی اثرات غلظت اولیه، حجم کل آب در گردش و سرعت جریان آب مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که با سرعت جریان ۵ لیتر در دقیقه و حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر به مدت ۳۰ دقیقه، هر سه آلاینده با غلظت اولیه ۸ میلی‌گرم در لیتر تا ۸۰ درصد تجزیه شده‌اند.

در مطالعه‌ی دیگری در سال ۲۰۲۳، تتراسایکلین هیدروکلراید، داکسی سایکلین هیکلات و اکسی تتراسایکلین دی هیدرات به عنوان ترکیبات مدل برای ارزیابی میزان اثربخشی سیستم ایجاد شده انتخاب شده‌اند [۱۱]. آزمایشات تجزیه آنتی بیوتیک با استفاده از محلول آب ۵ لیتری در غلظت های مختلف آنتی بیوتیکی انجام شده است. همه آزمایش‌ها در مدت ۱۵ دقیقه انجام شده و دما در ۳۰ درجه سانتیگراد با نوسانات ۲± درجه سانتیگراد ثابت نگه داشته شده است. تاثیر فشار ورودی حفره‌زایی هیدرودینامیکی اعمال شده (۴۵، ۶۰ و ۷۰ بار)، فرکانس دامنه اعمالی تخلیه الکتریکی پلاسما (۱۰ و ۴۸ کیلوهرتز) و مقادیر pH محلول‌های اولیه (۲ و ۱۱) بر میزان تخریب آنتی‌بیوتیک بررسی شده است. از ترکیب پلاسما و حفره‌زایی هیدرودینامیکی، ۹۸ درصد تتراسایکلین هیدروکلراید، ۹۸ درصد داکسی سایکلین هیکلات و ۹۵ درصد اکسی تتراسایکلین دی هیدرات پس از تنها ۱۵ دقیقه در فشار ۷۰ بار و فرکانس ۴۸ کیلوهرتز تخریب شده است.

در نهایت در سال ۲۰۲٤، تصفیه فاضلاب دارویی با COD بالا (۴۸۵ گرم در لیتر) در مقیاس آزمایشی با استفاده از حفره‌زایی هیدرودینامیکی و در ترکیب با اکسیدان ها و تخلیه الکتریکی با پلاسمای سرد مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که تصفیه فاضلاب دارویی با COD بالا به روش حفره‌زایی هیدرودینامیکی رضایت بخش نبوده است. اما یک رویکرد ترکیبی شامل ترکیب حفره‌زایی هیدرودینامیکی با پلاسمای سرد برای تصفیه فاضلاب مذکور، پس از بهینه سازی تمام پارامترهای حفره‌زایی و تخلیه الکتریکی (فشار ٤٥ بار و فرکانس ۱۰ کیلوهرتز)، بهترین عملکرد را با کاهش ۵۰٪ نشان داده است [۱۲].

منابع:

[۱] J. Zheng, P. Zhang, X. Li, L. Ge, J. Niu, Insight into typical photo-assisted AOPs for the degradation of antibiotic micropollutants: Mechanisms and research gaps, Chemosphere ۳٤۳ (۲۰۲۳) ۱٤۰۲۱۱.

[۲] K. Kyere-Yeboah, I.K. Bique, X.-C. Qiao, Advances of non-thermal plasma discharge technology in degrading recalcitrant wastewater pollutants: A comprehensive review, Chemosphere ۳۲۰ (۲۰۲۳) ۱۳۸۰٦۱.

[۳] A.V. Mohod, A.C.S.C. Teixeira, M.V. Bagal, P.R. Gogate, R. Giudici, Degradation of organic pollutants from wastewater using hydrodynamic cavitation: A review, Journal of Environmental Chemical Engineering ۱۱ (۲۰۲۳) ۱۰۹۷۷۳.

[٤] V.O. Abramov, A.V. Abramova, G. Cravotto, R.V. Nikonov, I.S. Fedulov, V.K. Ivanov, Flow-mode water treatment under simultaneous hydrodynamic cavitation and plasma, Ultrasonics Sonochemistry ۷۰ (۲۰۲۱) ۱۰۵۳۲۳.

[۵] V. Abramov, A. Abramova, V. Bayazitov, S. Kameneva, V. Veselova, D. Kozlov, M. Sozarukova, A. Baranchikov, I. Fedulov, R. Nikonov, G. Cravotto, Fast degradation of tetracycline and ciprofloxacin in municipal water under hydrodynamic cavitation/plasma with CeO_2 nanocatalyst, Processes ۱۰ (۲۰۲۲) ۲۰٦۳.

[٦] A. Filipić, Arijana, D. Dobnik, I. Gutiérrez-Aguirre, M. Ravnikar, T. Košir, Š. Baebler, A. Štern, Cold plasma within a stable supercavitation bubble–A breakthrough technology for efficient inactivation of viruses in water, Environment international ۱۸۲ (۲۰۲۳) ۱۰۸۲۸۵.

[۷] Q. Wu, H. Luo, H. Wang, Z. Liu, L. Zhang, Y. Li, X. Zou, X. Wang, Simultaneous hydrodynamic cavitation and nanosecond pulse discharge plasma enhanced by oxygen injection, Ultrasonics Sonochemistry ۹۹ (۲۰۲۳) ۱۰٦۵۵۲.

[۸] T. Qin, S. Nie, H. Ji, Z. Xie, Synergistic degradation and degradation pathways of methylene blue by plasma process combined with cavitation impinging stream reactor based on hydrodynamic cavitation, Journal of Environmental Chemical Engineering ۱۱ (۲۰۲۳) ۱۱۰۳۵٦.

[۹] T.C. Pereira, E.M.M. Flores, A.V. Abramova, F. Verdini, E.C. Gaudino, F. Bucciol, G. Cravotto, Simultaneous hydrodynamic cavitation and glow plasma discharge for the degradation of metronidazole in drinking water, Ultrasonics Sonochemistry ۹۵ (۲۰۲۳) ۱۰٦۳۸۸.

[۱۰] N. Shahsavari, X. Zhang, Microbubble-enhanced cold plasma activation for water decontamination: Degradation dynamics and energy yield in relation to pollutant concentration, total volume and flow rate of water, Journal of Water Process Engineering ٥٥ (۲۰۲۳) ۱۰٤۱٦۹.

[۱۱] F. Verdini, E.C. Gaudino, E. Canova, M.C. Colia, G. Cravotto, Highly efficient tetracycline degradation under simultaneous hydrodynamic cavitation and electrical discharge plasma in flow, Industrial & Engineering Chemistry Research ٦۲ (۲۰۲۳) ۱۹۳۱۱–۱۹۳۲۲.

[۱۲] F. Verdini, E. Canova, R. Solarino, E.C. Gaudino, G. Cravotto, Integrated physicochemical processes to tackle high-COD wastewater from pharmaceutical industry, Environmental Pollution ۳٤۲ (۲۰۲٤) ۱۲۳۰٤۱.

۹ نیازمندی‌های این پروژه:

الف) نیازمندی نیروی انسانی:

تخصص‌های مورد نیاز	کارشناسی	کارشناسی ارشد	دکتری	توضیحات
مهندسی مکانیک		۱		
زیست‌شناسی		۱		
شیمی‌فیزیک			۲	
شیمی	۲			
مجموع		**٦**		

ب) نیازمندی مالی و تجهیزاتی:

هزینه ساخت دستگاه پلاسما و حفره‌زایی هیدرودینامیکی

۱۰ چشم‌انداز طرح و امکان توسعه:

در این طرح، ابتدا طراحی‌های لازم برای ادغام سیستم‌های پلاسما و حفره‌زایی هیدرودینامیک انجام خواهد شد. سپس دستگاه پلاسما-حفره‌زایی هیدرودینامیکی ساخته شده و آزمایش‌های لازم برای بررسی کارآمدی آن در تخریب آلاینده-های شیمیایی آلی، دارویی و میکروبی انجام خواهد شد. در ادامه تست‌های لازم برای نمونه‌های واقعی انجام خواهد شد. پس از انجام بررسی‌های لازم و با جلب مشارکت صاحبان صنایع، و با کمک آن‌ها نمونه‌های بزرگ‌تر دستگاه برای تست‌های Pilot انجام خواهد گرفت. بدین ترتیب با کمک نتایج بدست آمده از کارهای انجام گرفته در مقیاس‌های Pilot و با سرمایه‌گذاری واحدهای صنعتی تلاش خواهد شد تا نمونه‌های واقعی ساخته و مورد استفاده قرار گیرد.

۱۱ زمان‌بندی اجرای طرح:

ماه/کار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
مطالعات اولیه	۱								
ساخت سیستم		۱	۱	۱	۱				
انجام تست اولیه						۱	۱		
تجزیه و تحلیل نتایج								۱	
تجاری سازی دستگاه برای تست در مقیاس **Pilot**									۱