



بررسی عملکرد فناوری اولتراسونیک و پراکسید هیدروژن در حذف بیس فنول A از محلول های آبی

نویسندگان: محمدهادی دهقانی^۱، زهیر نوروزی^۲، الهام نیکفر^۳، امیرحسین محوی^۴

^۱. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران

^۲. کارشناس، مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران

^۳. نویسنده مسئول: کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران

تلفن تماس: ۰۹۱۲۴۲۲۳۳۰۹ Email:e.nikfar@gmail.com

^۴. استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران

چکیده

مقدمه: بیس فنول A یک آنتی اکسیدان غیرقابل تجزیه بیولوژیکی بوده که مخاطرات زیادی برای سلامتی انسان و حیوانات دارد. و به علت اینکه تنها مقدار کمی از آن در طی تصفیه فاضلاب حذف می شود، فاضلاب حاوی بیس فنول A می تواند منبع آلودگی در محیط آبرزی باشد. لذا هدف از انجام این مطالعه بررسی عملکرد فناوری اولتراسونیک و پراکسید هیدروژن در حذف بیس فنول A از محلول های آبی می باشد.

روش بررسی: آزمایشات سونوشیمیایی توسط دستگاه اولتراسونیک (ساخت شرکت Elma) در توان های ۳۰۰ و ۵۰۰ وات و فرکانس های ۳۵ و ۱۳۰ کیلوهرتز در انجام شد. غلظت پراکسید هیدروژن ۵، ۱۵ و ۳۰ میلی گرم در لیتر و غلظت اولیه بیس فنول A در محدوده ۲، ۵، ۲۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر بود. جهت اندازه گیری غلظت بیس فنول A از دستگاه Spectrometer UV/VIS Lambda 25 Perkin Elmer, Shelton استفاده شده است.

یافته ها: نتایج نشان داد که فرآیند تلفیقی اولتراسونیک و پراکسید هیدروژن با راندمان ۹۸/۶۵ درصد، بالاترین راندمان را در حذف بیس فنول A دارا می باشد. بیشترین میزان حذف نیز در فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز و توان ۵۰۰ وات همراه با ۳۰ میلی گرم در لیتر پراکسید هیدروژن در pH=۱۱ مشاهده شد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش pH سرعت تجزیه بیس فنول A توسط هر سه فرآیند (اولتراسونیک، پراکسید هیدروژن و تلفیق اولتراسونیک و پراکسید هیدروژن) افزایش می یابد.

نتیجه گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که فرآیند تلفیقی اولتراسونیک و پراکسید هیدروژن می تواند به عنوان یک روش پاک و دوستدار محیط زیست جهت تصفیه آب های حاوی بیس فنول A در حد معقول مورد استفاده قرار بگیرد.

واژه های کلیدی: اولتراسونیک، پراکسید هیدروژن، بیس فنول A، محلول های آبی

طلوع بهداشت

دو ماهنامه علمی پژوهشی

دانشکده بهداشت یزد

سال پانزدهم

شماره: اول

فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۵

شماره مسلسل: ۵۵

تاریخ وصول: ۱۳۹۳/۴/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۲۰



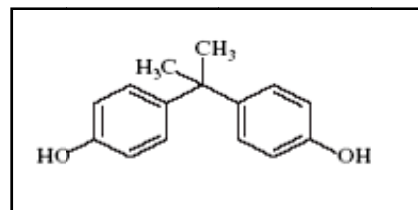
مقدمه

می باشد. تحقیقات اخیر نشان داده اند که گیرنده های استروژنی غشا سلولی می توانند در پاسخ فیزیولوژیکی به بیس فنول A در غلظت های پیکوگرم بر میلی لیتر تحریک شوند (۸).

روش های مختلفی برای حذف بیس فنول A وجود دارد یکی از روش های پاک و بی خطر که از نظر محیط زیست در دنیا مطرح شده، استفاده از راکتورهای اولتراسونیک (US) می باشد که می تواند با توجه به مزایایی که بر آن مترتب است در تصفیه آلودگی منابع آبی به آلاینده ها از جمله ترکیبات بیس فنول A، مورد استفاده قرار بگیرد. اثرات شیمیایی امواج اولتراسونیک ناشی از پدیده کاویتاسیون صوتی است، که مربوط به شکل گیری و به دنبال آن ریزش حباب های حاصل از عبور موج از مایع است. این حباب ها در خلال سیکل انبساط موج، حاوی بخار یا گازی می شوند که قبلاً به صورت محلول در مایع وجود داشتند. در هنگام ریزش، فشار و دما، تجزیه مولکولی به شدت بالا می رود و به دنبال آن رادیکال های قوی و فعالی مانند هیدروکسیل، پراکسیل و پراکسید هیدروژن شکل می گیرند. این رادیکال ها ممکن است در داخل حباب های در حال ریزش واکنش نمایند و باعث تشکیل مولکول ها و رادیکال های جدید شوند و یا بعد از انتقال داخل سیال فعالیت خود را شروع نمایند. در مورد سونولیز آب رادیکال های فعال هیدروکسیل و هیدروژن تولید می شوند.

اکسیداسیون امواج اولتراسونیک یک روش بسیار کارآمد در حذف و کاهش آلاینده های سمی می باشد. امروزه از مهم ترین کاربردهای امواج اولتراسونیک تلفیق آن با سایر روش های موجود از جمله روش های اکسیداسیون پیشرفته است (۱۰-۱۲). مطالعاتی نیز

نام رایج بیس فنول A (BPA)، ۲،۲-(۴،۴-دی هیدروکسی فنیل) پروپان است که از ۲ مول فنول با یک مول استون تشکیل شده است. فرمول بیس فنول A، $C_{15}H_{16}O_2$ می باشد (۱). ساختار مولکولی بیس فنول A در شکل ۱ نشان داده شده است.

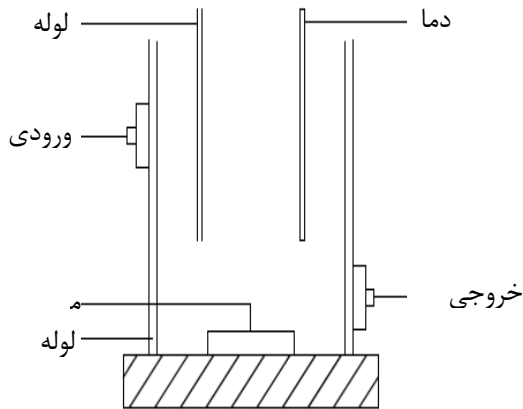


شکل ۱: ساختار مولکولی بیس فنول A

بیس فنول A آلوده کننده اکوسیستم آبی است که سمیت حادی برای ارگانسیم های آبی در حدود ۱-۱۰ میکروگرم بر میلی لیتر در آب شیرین و دریا دارد (۴-۲) دوز خیلی کم بیس فنول A باعث تکثیر سلول های سرطانی پروستات در انسان، بیماری قلبی، دیابت نوع ۲ و ناهنجاری در آنزیم های کبد می شود (۵). بیس فنول A به عنوان مختل کننده تعادل هورمونی در انسان و سایر حیوانات طبقه بندی می شود. حتی در غلظت کمتر از ۱ نانوگرم بر لیتر فعالیت استروژنیک آن اثبات شده است (۶). مقدار آن در خون مرد و زن با اختلالات تولیدمثل، هیپرپلازی آندومتر، سقط مکرر جنین، ژنتیک غیرطبیعی و سندرم تخمدان پلی کیستیک همراه است. مطالعات نشان داده است که در نتیجه تماس با دوز خیلی کمتر از ۰/۰۵ میلی گرم به ازای یک کیلوگرم وزن بدن می تواند سلامتی را به مخاطره بیندازد (۷). اگرچه بر اساس گزارش U. S. EPA دوز برای انسان ۵۰ میکروگرم به ازای یک کیلوگرم وزن بدن در روز



اولتراسونیک ساخت شرکت الما که قابلیت تولید امواج فراصوت در دو فرکانس ۳۵ و ۱۳۰ کیلوهرتز با توان ورودی ۵۰۰ وات را داشت، استفاده گردید. شماتیک طرح دستگاه اولتراسونیک در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲: شماتیک طرح دستگاه اولتراسونیک

جهت تنظیم pH نیز از هیدروکسید سدیم (NaOH) و اسید کلریدریک (HCl) ۰/۰۱ نرمال استفاده گردید. کلیه مواد شیمیایی مصرفی در این پژوهش از شرکت مرک (آلمان) و با درجه خلوص بالا خریداری شد. آزمایش ها در چند مرحله به شرح زیر انجام گردید.

مرحله اول: فرآیند اولتراسونیک

برای این منظور ابتدا محلول استوک بیس فنول A ساخته شده و سپس نمونه‌ها با غلظت‌های موردنظر (۲، ۵، ۲۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر) از محلول استوک تهیه شدند سپس pH محلول با استفاده از دستگاه pH متر مدل E520, Metrohm Herisau در محدوده موردنظر (۳، ۷ و ۱۱) تنظیم شد. در مرحله بعد نمونه‌ها در

در این زمینه صورت گرفته است به عنوان مثال، Kejia Zhang و همکارانش در سال ۲۰۱۰ مطالعه‌هایی در زمینه حذف بیس فنول A با کاربرد امواج اولتراسونیک با فرکانس ۴۰۰، ۶۷۰، ۸۰۰ کیلوهرتز و شدت ۰/۹، ۱/۸ و ۳ وات بر سانتی متر مربع همراه با غلظت‌های پایین پراکسید هیدروژن انجام دادند. نتایج نشان داد که افزودن H_2O_2 با یک غلظت پایین می‌تواند تجزیه بیس فنول A را به طور مؤثری بهبود بخشد، بیشترین میزان حذف نیز در فرکانس ۸۰۰ کیلوهرتز و شدت ۳ وات بر سانتی متر مربع به دست آمد (۱۳).

Marcio Inoue و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۸ مطالعه‌هایی در زمینه حذف بیس فنول A با استفاده از واکنش‌های سونوشیمیایی انجام دادند، نتایج نشان داد که بیس فنول A با غلظت ۰/۵ میلی مول بعد از ۲، ۳ و ۱۰ ساعت تابش امواج اولتراسونیک در فرکانس ۱۰۴ کیلوهرتز و شدت ۳/۵، ۹ و ۱۲/۹ کیلووات بر مترمربع به طور کامل حذف می‌گردد (۱۴).

هدف از این مطالعه بررسی عملکرد راکتور اولتراسونیک و پراکسید هیدروژن جهت حذف بیس فنول A از محلول‌های آبی می‌باشد. متغیرهای مورد مطالعه در این تحقیق عبارت از توان و فرکانس امواج اولتراسونیک، pH، زمان تماس، غلظت بیس فنول A و پراکسید هیدروژن می‌باشند.

روش بررسی

این تحقیق یک مطالعه تجربی بوده که در مقیاس آزمایشگاهی و به شکل منقطع در آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران در سال ۱۳۹۱ انجام گردید. در این مطالعه به منظور حذف بیس فنول A از یک حمام



است. پس از پایان کار کلیه داده‌های به دست آمده از فرآیندهای اولتراسونیک و پراکسید هیدروژن با استفاده از نرم افزار Excel مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها

اثر فرآیند اولتراسونیک

تأثیر فرآیند اولتراسونیک با فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز و توان ۵۰۰ وات در حذف بیس فنول A در pH و غلظت‌های مختلف بیس فنول A در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کارایی امواج اولتراسونیک در حذف بیس فنول A در pH برابر با ۱۱ بیشتر از ۳ می‌باشد که البته اختلاف زیادی مشاهده نمی‌شود. تأثیر فرکانس و توان امواج اولتراسونیک بر روی میزان حذف بیس فنول A نیز در شکل ۳ نشان داده شده است که ملاحظه می‌شود تأثیر افزایش فرکانس در افزایش کارایی فرآیند اولتراسونیک بیشتر از توان بوده و میزان حذف بیس فنول A در فرکانس بالا بیشتر می‌باشد. تأثیر زمان تماس نیز در فواصل زمانی ۱- ۱۸۰ دقیقه برای حذف بیس فنول A در شرایط بهینه (pH=۱۱، فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز و توان ۵۰۰ وات) بررسی شد. با افزایش زمان تماس، کارایی حذف نیز افزایش می‌یابد و بیشترین کارایی حذف برای بیس فنول A در زمان تماس ۱۵۰ دقیقه اتفاق می‌افتد. از طرفی کارایی حذف با افزایش غلظت بیس فنول A کاهش می‌یابد.

اثر پراکسید هیدروژن

تأثیر غلظت‌های مختلف پراکسید هیدروژن در حذف بیس فنول A در pH‌های مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است کارایی پراکسید هیدروژن در حذف غلظت‌های

بشرهای ۱۰۰ میلی‌لیتری در فرکانس‌های ۳۵ و ۱۳۰ کیلوهرتز، توان‌های ۳۰۰ و ۵۰۰ وات و زمان‌های تماس ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه در داخل حمام اولتراسونیک قرار گرفتند.

مرحله دوم: کاربرد پراکسید هیدروژن

در این مرحله نمونه‌های بیس فنول A با غلظت‌های مورد نظر، تهیه شده و pH محلول در محدوده مورد نظر تنظیم گردید. سپس غلظت‌های ۵، ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر از محلول استوک پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد تهیه شده و به نمونه‌های بیس فنول A اضافه گردید و پس از عمل اختلاط توسط شیکر مدل GFL 3018 در زمان‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ دقیقه میزان حذف بیس فنول A توسط پراکسید هیدروژن بررسی گردید.

مرحله سوم: فرآیند تلفیقی اولتراسونیک و پراکسید هیدروژن

در این مرحله اثر ترکیبی هر دو فرآیند در حذف بیس فنول A مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ابتدا نمونه‌های بیس فنول A با غلظت‌های مشخص تهیه شده و سپس پراکسید هیدروژن در مقادیر ۵، ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر به آن‌ها اضافه گردید و سپس در دستگاه اولتراسونیک در دو فرکانس ۳۵ و ۱۳۰ کیلوهرتز و دو محدوده توان ۳۰۰ و ۵۰۰ وات با زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه و در pH برابر با ۱۱ (بر اساس نتایج تعیین pH بهینه در فرآیندهای اولتراسونیک و پراکسید هیدروژن) قرار داده شد.

جهت اندازه‌گیری غلظت بیس فنول A از روش رنگ سنجی با ۴- Aminooantipyrene پیرین و دستگاه Spectrometer UV/VIS Lambda 25 Perkin Elmer, Shelton استفاده شده

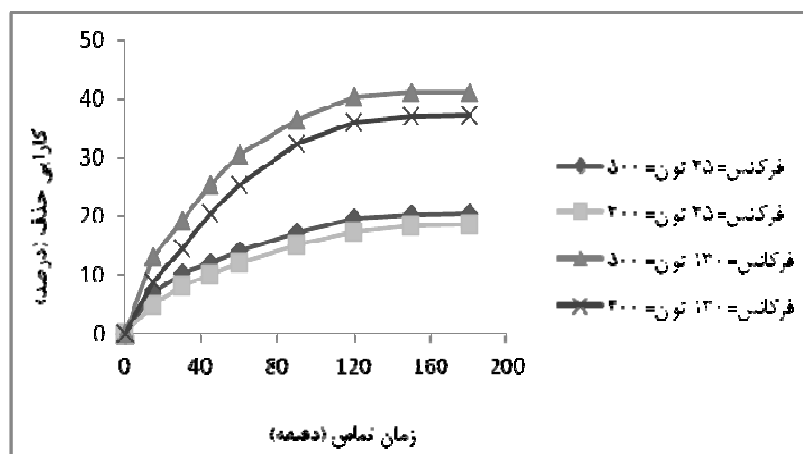


۹۸/۶۵ درصد بود و این در حالی است که برای همان شرایط کارایی حذف توسط امواج اولتراسونیک به تنهایی ۴۷/۱۴ درصد و توسط پراکسید هیدروژن ۳۰/۱۰ درصد بود. شکل ۴ کارایی هر کدام از فرآیندها را در حذف بیس فنول A در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. بنابراین ملاحظه می‌شود که کارایی فرآیند تلفیقی خیلی بیشتر از کارایی فرآیند اولتراسونیک به تنهایی بوده و اختلاف زیادی بین آن‌ها وجود دارد. تأثیر غلظت پراکسید هیدروژن بر روی کارایی حذف بیس فنول A توسط فرآیند تلفیقی نیز بررسی شد.

کارایی حذف بیس فنول A در شرایط بهینه توسط فرآیند اولتراسونیک در حضور پراکسید هیدروژن با غلظت‌های ۵، ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب ۶۲/۷۵، ۹۰/۹۱ و ۹۸/۶۵ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده افزایش کارایی حذف با افزایش غلظت پراکسید هیدروژن می‌باشد.

مختلف بیس فنول A کم می‌باشد لذا کارایی حذف پراکسید هیدروژن بستگی به غلظت آن دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که کارایی پراکسید هیدروژن در حذف بیس فنول A در محیط‌های قلیایی بیشتر است. تأثیر زمان تماس نیز در فواصل زمانی ۱-۹۰ دقیقه برای حذف بیس فنول A در شرایط بهینه ($pH=11$) غلظت اولیه پراکسید هیدروژن ۳۰ میلی‌گرم در لیتر) بررسی شد. با افزایش زمان تماس از ۱۵ دقیقه به ۴۵ دقیقه کارایی حذف افزایش می‌یابد و بعد از ۴۵ دقیقه تقریباً ثابت می‌شود. همچنین نتایج مشخص کرد که کارایی پراکسید هیدروژن با افزایش غلظت بیس فنول A کاهش می‌یابد.

اثر تلفیقی امواج اولتراسونیک و پراکسید هیدروژن کارایی حذف بیس فنول A با غلظت اولیه ۲ میلی‌گرم در لیتر در $pH=11$ توسط امواج اولتراسونیک با فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز و توان ۵۰۰ وات در حضور ۳۰ میلی‌گرم در لیتر پراکسید هیدروژن



شکل ۳: تأثیر فرکانس و توان امواج اولتراسونیک بر میزان حذف بیس فنول A ($pH=11$, $C_0=2mg/l$)

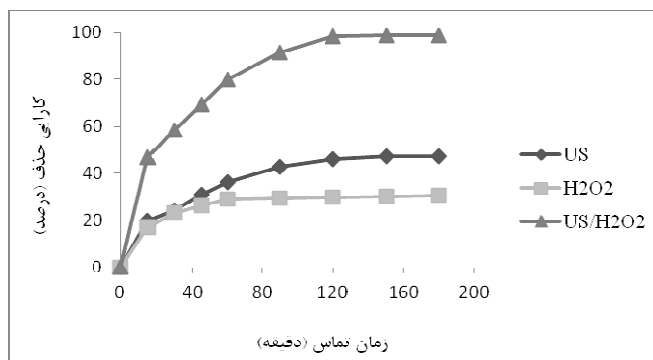


جدول ۱: میانگین کارایی حذف (درصد) بیس فنول A در فرآیند اولتراسونیک با فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز و توان ۵۰۰ وات در مدت زمان بهینه ۱۵۰ دقیقه در pH و غلظت‌هایی مختلف

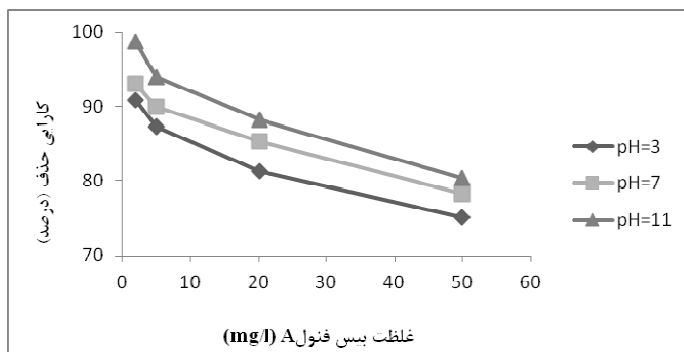
pH	غلظت اولیه بیس فنول A (میلی گرم در لیتر)			
	۵۰	۲۰	۵	۲
۳	۲۶	۲۹/۸۸	۳۶/۸۱	۴۱/۰۱
۷	۲۸/۳۶	۳۳/۶۶	۳۷/۴۰	۴۳/۳۲
۱۱	۲۸/۶۶	۳۳/۸۹	۳۷/۶۰	۴۷/۱۴

جدول ۲: میانگین کارایی حذف (درصد) بیس فنول A توسط پراکسید هیدروژن در مدت زمان بهینه ۴۵ دقیقه

pH	(mg/l) H ₂ O ₂			(mg/l) BPA
	۱۱	۷	۳	
۱۰/۹۶	۷/۲۴	۵/۶۶	۵	
۱۹/۸۴	۱۵/۳۴	۸/۵۵	۱۵	۲
۲۹/۶۶	۲۵/۱	۲۰/۶۵	۳۰	
۹/۰۳	۶/۰۸	۴/۹۲	۵	
۱۶/۹۱	۱۳/۳۵	۶/۵۴	۱۵	۵
۲۷	۲۳/۲۱	۱۹/۶۵	۳۰	
۸/۴	۵/۶۹	۳/۸۸	۵	
۱۴/۰۵	۹/۵۵	۴/۸۵	۱۵	۲۰
۲۲/۶۹	۱۸	۱۲/۵۶	۳۰	
۶/۱۱	۴/۰۱	۱/۹۳	۵	
۱۱/۵۱	۷/۳۳	۲/۲۵	۱۵	۵۰
۱۷/۸۸	۱۴	۱۰/۵	۳۰	



شکل ۴: مقایسه کارایی فرآیندهای مجزا و تلفیقی اولتراسونیک و پراکسید هیدروژن در حذف بیس فنول A در شرایط بهینه (pH=۱۱, C₀ H₂O₂=۳۰ mg/l, C₀=۲mg/l) فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز و توان ۵۰۰ وات)



شکل ۵: تأثیر pH و غلظت اولیه بیس فنول A بر کارایی فرآیند US/H_2O_2 (فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز، $H_2O_2 = 30 \text{ mg/l}$)

بیس فنول A در فرکانس ۱۳۰ کیلوهرتز بیشتر از ۳۵ کیلوهرتز گردد (۱۵،۱۶).

کاهش میزان حذف در اثر افزایش غلظت را می‌توان به علت رقابت برای واکنش با رادیکال‌های هیدروکسیل در غلظت‌های بالا دانست. علاوه بر آن وقتی غلظت در فاز مایع افزایش می‌یابد ممکن است فشار جزئی در حباب‌های کاویتاسیون افزایش یافته و در نتیجه دمای اضمحلال کاهش یابد که خود می‌تواند بر حذف بیس فنول A مؤثر باشد. غلظت ماده همچنین می‌تواند در ناحیه تجزیه مواد (داخل حباب، ناحیه بینابینی و یا داخل محلول) و در نتیجه بر سرعت حذف مؤثر باشد (۱۷).

به‌طور معمول میزان حذف بیس فنول A توسط امواج اولتراسونیک کند است. در یک محیط آبی، رادیکال‌های H^0 و OH^0 که در نتیجه کاویتاسیون تشکیل می‌شوند، مواد آلی را در داخل یا خارج از حباب تجزیه می‌کنند. موادی که در داخل حباب تجزیه می‌شوند، سرعت تجزیه بالاتری نسبت به موادی دارند که در بیرون از حباب تجزیه می‌شوند. هر چه مواد نزدیک‌تر به حباب باشند میزان حذف آن‌ها بیشتر است. چون دسترسی به رادیکال‌ها

شکل ۵ تأثیر pH و غلظت اولیه بیس فنول A را بر روی کارایی حذف فرآیند تلفیقی نشان می‌دهد همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است با افزایش pH و کاهش غلظت اولیه بیس فنول A کارایی فرآیند تلفیقی اولتراسونیک و پراکسید هیدروژن افزایش می‌یابد.

بحث و نتیجه‌گیری

اثر فرآیند اولتراسونیک

مطالعات نشان داده است که اثر امواج اولتراسونیک در اکسیداسیون بیس فنول A به‌طور عمده از طریق واکنش با رادیکال‌های هیدروکسیل تولیدی در طی کاویتاسیون آب انجام می‌شود. این وضعیت نشان می‌دهد که سرعت واکنش‌های مربوط به رادیکال هیدروکسیل (تولید پراکسید هیدروژن و حذف بیس فنول A) در فرکانس‌های بالاتر، بیشتر است. این اختلاف میزان حذف بین این دو فرکانس به دلیل میزان پایین تولید رادیکال هیدروکسیل و امکان خروج کمتر این رادیکال‌ها از داخل حباب‌های کاویتاسیون به داخل محلول، در فرکانس ۳۵ کیلوهرتز مربوط می‌شود لذا این امر باعث می‌شود میزان حذف



دلیل افزایش کارایی پراکسید هیدروژن در pH های بالا این است که در محیط های قلیایی یون های OH^- بیشتری وجود داشته و در نتیجه تولید رادیکال های هیدروکسیل بیشتر بوده و حذف بیس فنول A توسط این عامل اکسیدان نیز بیشتر صورت می گیرد (۲۴-۲۲). کاهش کارایی پراکسید هیدروژن در اثر افزایش غلظت بیس فنول A را می توان این گونه توجیه نمود که چون در تمامی محلول ها مقدار پراکسید هیدروژن، pH و زمان تماس یکسان بوده است در نتیجه مقدار رادیکال های تولید شده نیز در هر سه نمونه یکسان می باشد و رادیکال های هیدروکسیل تولیدی در اکسیداسیون غلظت های بالاتر بیس فنول A کافی نیستند. بنابراین کارایی حذف محلول های حاوی بیس فنول A با غلظت کمتر بیشتر خواهد بود (۲۶، ۲۵).

اثر تلفیقی امواج اولتراسونیک و پراکسید هیدروژن

کارایی بالای فرآیند تلفیقی در حذف بیس فنول A به دلیل اثر سینرژیستی توسط دو مکانیسم اکسیداسیون قابل شرح است. این مکانیسم ها شامل تجزیه فراصوتی و اکسیداسیون توسط پراکسید هیدروژن است. طی تحقیقات انجام شده، هرچه تعداد رادیکال های هیدروکسیل بیشتر باشد تجزیه و سرعت اکسیداسیون مواد بیشتر می شود با توجه به اینکه تعداد رادیکال های حاصل از سیستم تلفیقی بیشتر از سیستم مجزای اولتراسونیک است لذا سرعت اکسیداسیون سیستم تلفیقی بیشتر از سیستم مجزای اولتراسونیک خواهد بود (۲۷). زیرا رادیکال های هیدروکسیل بیشتری تولید می گردد. با افزایش غلظت پراکسید هیدروژن تا یک حدی کارایی اکسیداسیون زیاد می شود و در صورت افزایش بیش از حد

راحت تر است و بنابراین اکسیداسیون بیس فنول A به وسیله اولتراسونیک مشکل تر می شود (۱۸).

مکانیسم حذف بیس فنول A در فرآیند اولتراسونیک به صورت واکنش های ۱ و ۲ می باشد (۲۰، ۱۹).

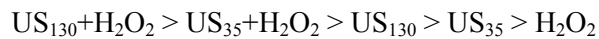
مطالعات متعدد مشابهی توسط پژوهشگران در این زمینه صورت گرفته است که نتایج حاصل از آن ها نیز متنوع است. به عنوان مثال Kejia Zhang و همکارانش در سال ۲۰۱۰ مطالعه ای در زمینه حذف بیس فنول A با کاربرد امواج اولتراسونیک در فرکانس های ۴۰۰، ۶۷۰، ۸۰۰ کیلوهرتز و شدت ۰/۹، ۱/۸ و ۳ وات بر سانتی مربع همراه با غلظت های پایین پراکسید هیدروژن انجام دادند، نتایج نشان داد که در فرکانس ۸۰۰ کیلوهرتز بیشترین حذف بیس فنول A صورت گرفته است (۱۳). Ruo و Zhaobing Guo و Feng در سال ۲۰۰۹ در مطالعه ای تأثیر امواج اولتراسونیک با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و شدت های مختلف را در حذف بیس فنول A بررسی کردند، نتایج نشان داد که با افزایش شدت امواج اولتراسونیک از ۲۰ به ۸۰ وات بر سانتی متر مربع کارایی حذف بیس فنول A نیز افزایش می یابد (۲۱). Marcio Inoue و همکارانش در سال ۲۰۰۸ در مطالعه هایی که در زمینه حذف بیس فنول A توسط امواج اولتراسونیک انجام دادند به این نتیجه رسیدند که کارایی حذف در فرکانس ۴۰۴ کیلوهرتز با افزایش شدت اولتراسونیک از ۳/۵ به ۱۲/۹ کیلووات بر متر مربع افزایش می یابد و بعد از ۱۰ ساعت تابش امواج اولتراسونیک، بیس فنول A به طور کامل تجزیه می شود (۱۴).

اثر پراکسید هیدروژن

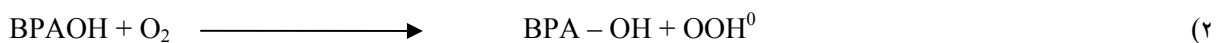


Ricardo A. Torres و همکارانش در مطالعه‌هایی تأثیر گاز اشباع (اکسیژن، آرگون و هوا)، غلظت بیس فنول A (۱۵/۰ - ۴۶۰ میکرومول برلیتر)، فرکانس اولتراسونیک (۳۰۰-۸۰۰ کیلوهرتز) و توان (۲۰-۸۰ وات) را در حذف بیس فنول A توسط امواج اولتراسونیک بررسی کردند. نتایج نشان داد برای ۱۱۸ میکرومول بر لیتر بیس فنول A در فرکانس ۳۰۰ کیلوهرتز و توان ۸۰ وات با اکسیژن به عنوان گاز اشباع بیشترین کارایی حذف اتفاق می‌افتد (۳۳).

نتایج مطالعه نشان داد که فرآیند تلفیقی اولتراسونیک و پراکسید هیدروژن بالاترین کارایی را در حذف بیس فنول A دارا می‌باشد همچنین کارایی حذف بیس فنول A توسط فرآیندهای موردنظر با pH، غلظت پراکسید هیدروژن، فرکانس، توان و زمان تماس رابطه مستقیم و با غلظت بیس فنول A رابطه عکس دارد. تأثیر فرکانس در حذف بیس فنول A بیشتر از توان بود. در کل با توجه به فرکانس‌ها و توان‌های به کار گرفته شده در فرآیندهای مورد مطالعه نتیجه کلی از لحاظ کارایی حذف بیس فنول A به شرح زیر می‌باشد.



با توجه به مصرف بالای انرژی پیشنهاد می‌شود از این روش در سیستم‌های صنعتی در مقیاس‌های کوچک و یا در تلفیق با سایر فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته استفاده شود.



غلظت پراکسید هیدروژن، فرآیند افت کرده و میزان حذف کم می‌شود. زیرا پراکسید هیدروژن در غلظت‌های خیلی بالا به عنوان جمع کننده رادیکال عمل کرده و مقدار رادیکال‌های بسیار فعال را در محیط کاهش می‌دهد (۲۹، ۲۸). علت کارایی بیشتر فرآیند در غلظت‌های کمتر این است که میزان رادیکال‌های آزاد تولیدی در مقایسه با غلظت بیس فنول A خیلی بیشتر است و بهتر می‌تواند آلاننده را مورد هدف قرار داده و عمل تخریب و اکسیداسیون را انجام دهد (۳۰).

واکنش‌های انجام شده در اثر افزودن پراکسید هیدروژن در واکنش‌های ۳ و ۴ ارائه شده است (۳۱):

در مطالعه Kejia Zhang و همکارانش در زمینه حذف بیس فنول A توسط امواج اولتراسونیک همراه با غلظت‌های پایین پراکسید هیدروژن نتایج نشان داد که افزودن پراکسید هیدروژن می‌تواند کارایی حذف توسط امواج اولتراسونیک را بهبود بخشد (۱۳). Nilsun H. Ince و Isil Gultekin نیز در مطالعه‌ای که در زمینه بررسی تأثیر پارامترهای مختلف در حذف بیس فنول A توسط امواج اولتراسونیک انجام دادند به این نتیجه رسیدند که افزودن پراکسید هیدروژن و تشکیل رادیکال‌های هیدروکسیل می‌تواند کارایی حذف را افزایش دهد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش غلظت بیس فنول A، کارایی حذف کاهش می‌یابد (۳۲).



تشکر و قدردانی

است بدین وسیله نویسندگان این مقاله از همکاری کارشناسان

محترم آزمایشگاه گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت

دانشگاه علوم پزشکی تهران تشکر و قدردانی می نمایند.

این مقاله از پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط

دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران استخراج گردیده

References

- 1- Staples CA, Dorn PB, Klecka GM, O'Block ST, Harris LR. A review of the environmental fate, effects, and exposures of bisphenol A. *Chemosphere* 1998; 36(10): 2149-73.
- 2- Neamtu M, Frimmel F.H. Degradation of endocrine disrupting bisphenol A by 254 nm irradiation in different water matrices and effect on yeast cells. *Water Res* 2006; 40(20): 3745-50.
- 3- Kang J.H, Kondo F, Katayama Y. Human exposure to bisphenol A. *Toxicol* 2006; 226(2): 79-89.
- 4- Wang G, Feng Wu, Zhang Xu, Luo M, Deng N. Enhanced TiO₂ photocatalytic degradation of bisphenol A by β -cyclodextrin in suspended solutions. *J Photochem Photobiol Chem* 2006; 179(1): 49-56.
- 5- Mohapatra D, Brar SK, Tyagi RD, Surampalli RY. Physico-chemical pre-treatment and biotransformation of wastewater and wastewater Sludge-Fate of bisphenol A. *Chemosphere* 2010; 78(8): 923-41.
- 6- Bolong N, Ismail A.F, Salim M.R, Rana D, Matsuura T, Tabe-Mohammadi A. Negatively charged polyethersulfone hollow fiber nanofiltration membrane for the removal of bisphenol A from wastewater. *Separation Purific Tech* 2010; 73(2): 92-9.
- 7- Yin H, Zhou Y, Xu J, Ai S, Cui L, Zhu L. Amperometric biosensor based on tyrosinase immobilized onto multiwalled carbon nanotubes-cobalt phthalocyanine-silk fibroin film and its application to determine bisphenol A. *Analytica chimica acta* 2010; 659(2-1): 144-50.
- 8- Sánchez-Acevedo Z.C, Riu J, Rius F.X. Fast picomolar selective detection of bisphenol A in water using a carbon nanotube field effect transistor functionalized with estrogen receptor-(alpha). *Biosensors Bioelectronics* 2009; 24(9): 2842-46.
- 9- Ingale M.N, Mahajani V.V. A novel way to treat refractory waste: sonication followed by wet oxidation (SONIWO). *J Chem Tech Biotech* 1995; 64(1): 80-6.
- 10- Mason T.J, Lorimer J.P. *Applied sonochemistry*. Wiley Online Library. 2002.
- 11- Mason T.J, Newman A, Phull S. *Sonochemistry in water treatment*. 1993.



- 12- Adewuyi Y.G. Sonochemistry in environmental remediation. 1 Combinative and hybrid sonophotochemical oxidation processes for the treatment of pollutants in water. *Environ Sci Tech* 2005; 39(10): 3409-20.
- 13- Zhang K, Gao N, Deng Y, Lin TF, Ma Y, Li L, et al. Degradation of bisphenol-A using ultrasonic irradiation assisted by low-concentration hydrogen peroxide. *J Environ Sci* 2011; 23(1): 31-6.
- 14- Inoue M, Masuda Y, Okada F, Sakurai A, Takahashi I, Sakakibara M. Degradation of bisphenol A using sonochemical reactions. *Water Res* 2008; 42(6-7): 1379-86.
- 15- Lesko T.M. Chemical effects of acoustic cavitation. California Institute of Technology. 2004.
- 16- Wu C, Liu X, Wei D, Fan J, Wang L. Photosonochemical degradation of phenol in water. *Water Res* 2001; 35(16): 3927-33.
- 17- Jiang Y, Petrier C, Waite T.D. Effect of pH on the ultrasonic degradation of ionic aromatic compounds in aqueous solution. *Ultrasonics Sonochemistry* 2002; 9(3): 163-8.
- 18- Pandit A.B, Gogate P.R, Mujumdar S. Ultrasonic degradation of 2:4:6 trichlorophenol in presence of TiO₂ catalyst. *Ultrasonics Sonochemistry* 2001; 8(3): 227-31.
- 19- Nie M, Wang Q, Qiu G. Enhancement of ultrasonically initiated emulsion polymerization rate using aliphatic alcohols as hydroxyl radical scavengers. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2008; 15(3): 222-6.
- 20- von Sonntag C, Schuchmann H.P. The Elucidation of Peroxyl Radical Reactions in Aqueous Solution with the Help of Radiation Chemical Methods. *Angewandte Chemie International Edition in English* 1991; 30(10): 1229-53.
- 21- Guo Z, Feng R. Ultrasonic irradiation-induced degradation of low-concentration bisphenol A in aqueous solution. *J Hazard Materials* 2009; 163(2-3): 855-60.
- 22- Alaton I.A, Balcioglu I.A, Bahnemann D.W. Advanced oxidation of a reactive dye bath effluent: comparison of O₃, H₂O₂/UV-C and TiO₂/UV-A processes. *Water Res* 2002; 36(5): 1143-54.
- 23- Daneshvar N, Aber S, Hosseinzadeh F. Study Of CI acid orange 7 removal In contaminated water by photo oxidation processes. *Global Nest J* 2008; 16: 23-10.
- 24- Samarghandi M, Siboni M, Maleki A, Jafari S.J, Nazemi F. Kinetic determination and efficiency of titanium dioxide photocatalytic process in removal of reactive black5 (RB5) dye and cyanide from aquatic solution. *J Mazandaran Uni Med Sci* 2011; 21(81): 44-52.



- 25- Samarghandi M.R, Nouri J.A, Mesdaghinia A.R, Mahvi A.H, Naseri S, Vaezi F. Efficiency removal of phenol, lead and cadmium by means of UV/TiO₂/H₂O₂ processes. *Int. J. Environ. Sci. Tech* 2007; 4(1): 19-25.
- 26- Verma M. Ghaly A. Treatment of Remazol Brilliant Blue Dye Effluent by Advanced Photo Oxidation Process in TiO₂/UV and H₂O₂/UV reactors. *Am J Engg Applied Sci* 2008; 1(3): 230-40.
- 27- Naffrechoux E, Chanoux S, Petrier C, Suptil J. Sonochemical and photochemical oxidation of organic matter. *Ultrasonics Sonochemistry* 2000; 7(4): 255-9.
- 28- Alnaizy R. Akgerman A. Advanced oxidation of phenolic compounds. *Adv Environ Res* 2000; 4(3): 233-44.
- 29- Gogate PR, Pandit AB. A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods. *Adv Environ Res* 2004; 8(3): 553-97.
- 30- Hirvonen A, Tuhkanen T, Kalliokoski P. Formation of chlorinated acetic acids during UV/H₂O₂-oxidation of ground water contaminated with chlorinated ethylenes. *Chemosphere* 1996; 32(6): 1091-102.
- 31- Olson T.M, Barbier P.F. Oxidation kinetics of natural organic matter by sonolysis and ozone. *Water Res* 1994; 28(6): 1383-91.
- 32- Gültekin I, Ince N.H. Ultrasonic destruction of bisphenol-A: the operating parameters. *Ultrasonics Sonochemistry* 2008; 15(4): 524-9.
- 33- Torres RA, Pétrier C, Combet E, Carrier M, Pulgarin C. Ultrasonic cavitation applied to the treatment of bisphenol A. Effect of sonochemical parameters and analysis of BPA by-products. *Ultrasonics Sonochemistry* 2008; 15(4): 605-11.



Performance of ultrasonic and hydrogen peroxide technologies in removal of Bisphenol A from Aqueous solution

Dehghani M.H(Ph.D)¹, Norozi Z(BS)², Nikfar E(M.Sc)³, Mahvi AH(Ph.D)⁴

1. Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
2. Bachelor of Science in Environmental health Engineering, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3. Corresponding Author: MS.c in Environmental Health Engineering, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
4. Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: BPA is a non biodegradable antioxidant that has greatly hazardous for human and animals health. and Because of the eliminating alone fewness amount of the BPA during the wastewater treatment, wastewater that contains BPA can be source of pollution in aqueous solution. The objective of this study was Performance of ultrasonic and H₂O₂ technologies in removal of BPA from aqueous solution.

Methods: Experiments of sonochemical was carried out with use of unit ultrasonicator (Elma), which in the two power 300 and 500W, frequencies at 35 and 130KHz. Hydrogen Peroxide in concentrations at 5, 15 and 30mg/lit was applied. Initial concentration BPA at limits 2, 5, 20 and 50 mg/lit which For measuring concentration of BPA used from Spectrometer UV/VIS Lambada 25 Perkin Elmer, Shelton unit.

Results: The results demonstrated that hybrid ultrasonic and peroxide Hydrogen processes with Efficiency 98.65%, has the highest efficiency in the removal of BPA. The most decomposition rate achieved at the frequency of 130 KHz and 500W assisted by 30mg/lit H₂O₂ at pH 11. Also the results demonstrated that with pH increase destruction rate BPA the increased by any three processes (ultrasonic, H₂O₂ and both hybrid).

Conclusion: The results demonstrated that hybrid ultrasonic and peroxide Hydrogen processes can be used as a clean method and friendly environment for waters treatment are contains desirable BPA.

Keyword: Bisphenol A, ultrasonic, Hydrogen peroxide, aqueous solution