اکسیداسیون ۴- کلروفنل با کاربرد توأم فن آوری اکسیداسیون پیشرفته و مایکروویو اصلاح‌شده در فاضلاب صنایع پتروشیمی و شیمیایی*

عبدالمطلب صیدمحمدی[۱]، قربان عسگری[۲]، افشین ابراهیمی[۳]، زهرا شریفی[۴]، حسین موحدیان عطار[۵]

چکیده

مقدمه: ۴- کلروفنل یکی از آلاینده‌های رایج در فاضلاب تولیدی از صنایع شیمیایی و پتروشیمی است. این ماده به دلیل حضور کلر و حلقه بنزنی در آن، در برابر تجزیه بیولوژیکی مقاوم است. روش‌های متعددی جهت حذف این آلاینده در محیط، مورد استفاده قرار گرفته است که در این میان روش‌های اکسیداسیون پیشرفته دارای قابلیت بیشتری می‌باشند.

روش‌ها: در این مطالعه امکان حذف این آلاینده با استفاده از یک دستگاه مایکروویو خانگی اصلاح‌شده به تنهایی و همراه با افزودن ماده اکسیدکننده (پراکسید هیدروژن)، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تأثیر pH، زمان تماس، قدرت امواج مایکروویو و غلظت اولیه ماده آلی مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: کارایی حذف این ماده شیمیایی به غلظت پراکسید هیدروژن بستگی دارد به طوری که غلظت بهینه ماده اکسیدکننده ۰/۱ مولار می‌باشد و با افزایش آن از مقدار بهینه میزان حذف کاهش می‌یابد. نتایج این مطالعه در خصوص تأثیر pH نشان می‌دهند که در pH = ۱۰/۵ حداکثر کارایی حذف حاصل می‌شود. همچنین میزان تجزیه این ماده به شدت به غلظت اولیه آن بستگی دارد. توان مایکروویو عامل مهمی در حذف این آلاینده می‌باشد و با افزایش انرژی خروجی، میزان حذف افزایش می‌یابد. مقدار انرژی الکتریکی مورد استفاده در این روش ۱۷۴۶۰ کیلووات ساعت به ازای هر کیلوگرم ماده آلی تجزیه شده می‌باشد.

نتیجه‌گیری: بررسی نتایج این مطالعه در خصوص حذف ۴- کلروفنل با مایکروویو اصلاح‌شده حاکی از بالا بودن راندمان حذف این ماده آلی با استفاده از مایکروویو در محیط قلیایی و امواج بالای اشعه مایکروویو می‌باشد. با این حال مصرف برق بالا توسط این روش می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: فاضلاب صنایع پتروشیمی، مایکروویو، اکسیداسیون پیشرفته، ۴- کلروفنل، رادیکال هیدروکسیل.

دریافت مقاله: ۸۹/۳/۲۷ *پذیرش مقاله: ۸۹/۴/۲۹*

مقدمه

امروزه وجود ترکیبات و مواد مقاوم و سمی در منابع آب و همچنین تولید فاضلاب‌های حاوی ترکیبات سمی و پیچیده، کاربرد فرایندهای متداول تصفیه آب و فاضلاب را محدود و در برخی موارد ناتوان کرده است. از طرفی طی دو دهه گذشته، به دلیل افزایش آگاهی از بهداشت انسان و خطرات اکولوژیکی مرتبط با آلاینده‌های محیطی، استانداردهای زیست‌محیطی سخت‌گیرانه‌تر شده است (۱). از میان طیف

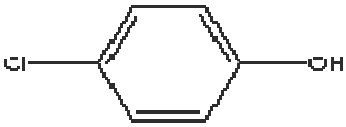
*این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی مصوب به شماره ۲۸۶۰۵۷ در دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد.

۱- عضو هیات علمی، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
۲- عضو هیات علمی، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران (نویسنده مسؤول) Email: asgari@umsha.ac.ir
۳- استادیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.
۴- کارشناس بهداشت محیط، آزمایشگاه آب و فاضلاب، مرکز بهداشت همدان، همدان، ایران.
۵- استاد، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]
www.mui.ac.ir

گسترده مواد آلی در محیط، ۴- کلروفنل در مقیاس وسیع در پالایشگاه‌ها، صنایع پتروشیمی، صنایع تولید حشره‌کش و علف‌کش‌ها، عوامل ضدمیکروبی محیط، تولید ترکیباتی نظیر 2-Benzyl-4-Chlorophenol و Acetophenrtidin و حفاظت از چوب کاربرد داشته و در فاضلاب تولیدی آن‌ها در دامنه ۴۰۰-۵۰ میلی‌گرم بر لیتر وجود دارد (۳، ۲).

این ماده با فرمول شیمیایی C_6H_5ClO یکی از انواع کلروفنل‌هایی است که در آن کلر جایگزین هیدروژن شماره ۴ در حلقه بنزنی فنل شده است که به نام‌های p-Chlorophenol، Para-Chlorophenol، 4-Chloro-hydroxybenzene نیز در بازار وجود دارد (شکل ۱).



شکل ۱. آرایش فضایی ۴- کلروفنل (۳)

۴- کلروفنل در حالت عادی جامد است و رنگی مشابه خاک دارد. نقطه ذوب ۴۳/۲، نقطه جوش ۲۱۸/۵ درجه سانتیگراد و وزن مخصوص ۱/۲۶۵ از دیگر مشخصات آن است. وزن مولکولی این ماده شیمیایی ۱۲۸/۵۶ گرم بر مول است و در آب حل می‌شود و در حالت معمول به طور نسبی اسیدی است. در درجه‌بندی سازمان بین‌المللی آتش‌نشانی، از نظر بهداشت، قابلیت اشتعال و واکنش‌پذیری در مراتب ۳، ۱ و ۰ قرار دارد (۳).

این ماده از طریق پوست، تنفس و گوارش وارد بدن می‌شود و به عنوان یک ماده شیمیایی سمی و خورنده است و سبب تحریک و سوزش چشم، پوست، گلو، بینی، افزایش سرفه، خس‌خس سینه و مشکلات تنفسی می‌شود. تماس طولانی مدت با این ماده سبب سردرد، خستگی، بی‌قراری، اثر بر کبد و کلیه، ضعف عضلانی، تهوع و در نهایت اغما و مرگ می‌شود. میزان کشندگی آن در موش (LD_{50}) در حدود ۶۷۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن است (۳، ۲). سوزانیدن، رهاسازی در هوا، جذب سطحی، اکسیداسیون تر، اکسیداسیون الکتروشیمیایی، اکسیداسیون بیولوژیکی و اکسیداسیون شیمیایی پیشرفته از مهم‌ترین روش‌های تصفیه ترکیبات آلی از جمله کلروفنل‌ها می‌باشند (۴). در این میان استفاده از امواج مایکروویو که اغلب به منظور تولید مواد شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد نیز می‌تواند به عنوان یک گزینه در جهت تجزیه مواد آلی مورد توجه قرار گیرد.

امواج مایکروویو، امواج الکترومغناطیسی با طول موج کوتاه‌تر از یک متر و بزرگتر از یک میلی‌متر با فرکانس بین ۳۰۰ MHz تا ۳۰۰ GHz، اولین بار در سال ۱۸۶۴ میلادی توسط شخصی به نام James Clerk Maxwell کشف شد (۲۸). از آن به بعد استفاده از امواج مایکروویو به منظور تولید یا تجزیه مواد آلی با خصوصیات مختلف به شکل گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از امواج مایکروویو به دلیل برخی خصوصیات آن کاربرد گسترده‌ای در صنعت، پزشکی، شیمی، داروسازی و مانند آن پیدا نموده است. اثرات امواج مایکروویو در واکنش‌های شیمیایی، ترکیبی از اثرات گرمایی (Thermal Effect) نظیر گرمای بیش از حد و نقاط داغ و غیر گرمایی (Non Thermal Effect) (افزایش جنبش مولکولی و تثبیت میدان) است (۶، ۵).

تاکنون مطالعات چندانی در خصوص تأثیر مایکروویو بر اکسیداسیون ۴- کلروفنل صورت نگرفتند. با این حال در یک مطالعه اکسیداسیون ۴- کلروفنل با استفاده از یک واحد مایکروویو خانگی اصلاح‌شده به تنهایی و با استفاده از امواج فرابنفش و بدون استفاده از ماده اکسیدکننده شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان دادند که استفاده از مایکروویو یا H_2O_2 به تنهایی توانایی حذف ۴- کلروفنل را ندارند، اما در حین استفاده از UV و اکسیدکننده‌ها و کاتالیست‌ها میزان حذف بالایی فراهم می‌شود (۷).

در مطالعه دیگری اثر روش کاتالیستی ارتقایافته مایکروویو در تجزیه با کارایی بالای ۴- کلروفنل توسط Lai و همکاران بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان دادند که با استفاده از این روش ۴- کلروفنل می‌تواند در عرض ۱۵ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و غلظت اولیه ۲۰۰ میلی‌گرم در

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]
www.mui.ac.ir

لیتر به طور کامل تجزیه گردد (۸). Zhao و همکاران نیز با استفاده از امواج مایکروویو، استات بوتیل گازی را مورد تجزیه قرار دادند. نتایج نشان دادند که این فن آوری، یک تکنیک مؤثر در حذف این گونه آلاینده‌ها می‌باشد (۹). در مطالعه حاضر استفاده از امواج مایکروویو به تنهایی و همراه با ماده اکسیدکننده (اکسیداسیون پیشرفته) و تأثیر پارامترهای مختلف بر کارایی فرایند را برای اولین بار در سطح کشور مورد بررسی قرار می‌دهد.

روش‌ها

به منظور انجام این پژوهش از یک دستگاه مایکروویو خانگی تغییر شکل یافته، استفاده گردید. به منظور ساخت پایلوت از یک دستگاه مایکروویو ساخت شرکت سامسونگ، مدل M۲۳۴۹GN استفاده گردید که تغییراتی به منظور جلوگیری از تبخیر مایع، با نصب یک دستگاه تقطیر برگشتی بر روی آن اعمال شد (شکل ۲).

شکل ۲: طرح شماتیک پایلوت مورد استفاده در پژوهش

در این پژوهش که یک مطالعه تجربی- کاربردی است؛ تأثیر غلظت‌های اولیه ۴- کلروفنل، pH، غلظت‌های مختلف پراکسید هیدروژن، نسبت مولی بهینه H_2O_2 به ۴- کلروفنل، زمان‌های تابش، مقدار انرژی مصرفی و مقدار انرژی مایکروویو در شرایط بهینه در سیستم مایکروویو مورد بررسی قرار گرفت. در تمامی مراحل کار از محلول استوک با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ۴- کلروفنل استفاده گردید. برای شروع کار یک غلظت ثابت ۴- کلروفنل در pH خنثی با غلظت‌های مختلف پراکسید هیدروژن استفاده گردید. سپس با به دست آوردن نسبت بهینه H_2O_2 به ۴- کلروفنل اثر سایر متغیرها مطالعه گردید. بدین منظور پس از تنظیم pH، محلول ۴- کلروفنل و پراکسید هیدروژن در مقادیر مورد نظر در ظرف ۵۰۰ میلی‌لیتری شیشه‌ای دارای درب سمباده‌ای که در برابر حرارت مقاوم شده است، وارد گردید و پس از اختلاط کافی با استفاده از دستگاه همزن مغناطیسی، در دستگاه مولد مایکروویو قرار گرفت و پس از نصب دستگاه تقطیر برگشتی بر روی آن و متصل نمودن آن به شیر آب، نمونه تحت تأثیر مقادیر متفاوت امواج مایکروویو قرار گرفت و در فاصله زمانی معین، عملیات نمونه‌برداری از قسمت بالای ظرف حاوی نمونه با استفاده از پیپت حبابدار در مقادیر ۱ تا ۱۰ میلی‌لیتر انجام گرفت. مراحل انجام آزمایش به شرح ذیل است.

- اثرات مقدار H_2O_2

غلظت‌های مختلف پراکسید هیدروژن به مقدار (۰/۲، ۰/۱، ۰/۰۵، ۰/۰۲، ۰/۰۱، ۰/۰۰۵ مول) برای تعیین نسبت مولی بهینه H_2O_2 استفاده گردید. به منظور سنجش اثر غلظت‌های اولیه پراکسید هیدروژن از غلظت ثابت ۴- کلروفنل (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در محدوده pH خنثی و در انرژی ۱۸۰ وات استفاده شد.

- تأثیر pH

برای تعیین اثر pH در ناحیه اسیدی، خنثی و بازی به ترتیب محدوده‌های ۳/۵، ۷ و ۱۰/۵ انتخاب گردید. برای مقایسه تغییرات pH در یک غلظت ثابت ۴- کلروفنل در انرژی ۱۸۰ وات و نسبت مولی بهینه H_2O_2 به ۴- کلروفنل استفاده گردید. برای تنظیم pH از اسید سولفوریک و هیدروکسید سدیم یک مولار استفاده شد.

- اثر مقادیر مختلف انرژی در سیستم مایکروویو

بدین منظور و پس از تعیین مقادیر بهینه pH و نسبت مولی بهینه H_2O_2 به ۴- کلروفنل در یک مقدار ثابت از ماده آلی و در مقادیر متفاوت انرژی در سیستم مایکروویو (۶۰۰، ۳۰۰ و ۱۸۰ وات) میزان حذف این ماده، جهت مشخص نمودن تأثیر قدرت امواج مایکروویو اندازه‌گیری شد.

- اثر غلظت اولیه ۴- کلروفنل

برای تعیین تأثیر غلظت اولیه ماده آلی در سیستم MW/H_2O_2 غلظت‌های مختلف ۴- کلروفنل به ترتیب برابر با (۵۰۰، ۴۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) مورد مطالعه قرار گرفت. برای بررسی این بخش از کار، از بهترین ناحیه اثرpH به دست آمده از مرحله قبل انرژی بهینه مایکروویو و نسبت مولی بهینه در غلظت‌های اولیه ۴- کلروفنل استفاده گردید.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]

www.mui.ac.ir

- نقش MW به تنهایی

در یک مرحله از انجام مطالعات نقش MW تنها در تجزیه ۴- کلروفنل در یک غلظت خاص، pH خنثی و انرژی ۱۸۰ وات به منظور تأثیر ماده اکسیدکننده (پراکسید هیدروژن)، مورد بررسی قرار گرفت.

- تعیین مقدار انرژی

در خاتمه کیلووات ساعت انرژی مصرفی به ازای تجزیه یک کیلوگرم ماده آلی در شرایط بهینه با استفاده از کنتور ۱۵ آمپر مشخص گردید.

برای انجام آزمایش‌ها از روش فتومتری مستقیم (۵۵۳۰.D) با کاربرد اسپکتروفتومتر برای اندازه‌گیری غلظت باقیمانده ۴- کلروفنل استفاده گردید. اصول کار به این ترتیب است که ترکیب ۴- کلروفنل با ۴- آمینو آنتی پیرین در pH = ۷/۹ ± ۰/۱ در حضور فری سیانور پتاسیم با تشکیل رنگ واکنش می‌دهد. این رنگ در محلول حفظ می‌شود و این محلول جذبی در ناحیه ۵۰۰ nm دارد (۱۰).

یافته‌ها

نتایج حاصل از تأثیر غلظت‌های اولیه پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در حذف ۴- کلروفنل در نمودار ۳ ارایه شده است. نتایج حاصل از آزمایش‌های تعیین اثر pH در میزان حذف ماده آلی در نمودار ۴ نشان داده شده است. در نمودار ۵ مقایسه درصد کاهش ۴- کلروفنل در مقادیر متفاوت انرژی در سیستم MW/H_2O_2 ارایه شده است. همچنین تأثیر غلظت‌های اولیه ۴- کلروفنل در کارایی سیستم در نمودار ۶ نشان داده شده است.

بحث

- تأثیر غلظت‌های اولیه پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در کارایی سیستم

نتایج حاصل از تأثیر غلظت‌های اولیه پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در حذف ۴- کلروفنل در نمودار ۳، نشان می‌دهند که با افزایش غلظت ماده اکسیدکننده سرعت انجام واکنش و میزان حذف ۴- کلروفنل افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که علت آن تأثیر امواج مایکروویو بر ماده اکسیدکننده (H_2O_2) و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل می‌باشد که نقش مهمی در اکسیداسیون مواد آلی دارد.

نمودار ۳. تأثیر غلظت‌های اولیه H_2O_2 در اکسیداسیون ۴- کلروفنل با سیستم MW/H_2O_2

(C_0 = ۱۰۰ mg/L)، pH =۷

بنابراین هر چه غلظت پراکسید هیدروژن در محلول بیشتر باشد به همان نسبت تولید رادیکال هیدروکسیل افزایش می‌یابد که خود عاملی برای اکسیداسیون بیشتر مواد آلی است. در این شرایط افزایش غلظت عامل اکسیدکننده تا حد معینی سرعت واکنش را افزایش می‌دهد و هنگامی که از حدی بیشتر شود، اثر معکوس در حذف ماده آلی دارد. علت آن است که H_2O_2 در غلظت بالا به عنوان مصرف‌کننده رادیکال آزاد عمل می‌کند و غلظت رادیکال آزاد را کاهش می‌دهد. بیشترین مقادیر حذف ۴- کلروفنل در pH خنثی و در مقدار انرژی ۱۸۰ وات در غلظت ۰/۱ مولار صورت گرفت که در مدت زمان ۹۰ دقیقه، نزدیک به ۳۴ درصد و در مدت زمان ۱۸۰ دقیقه، ۵۹ درصد ماده آلی اکسید شد. با افزایش غلظت ماده اکسیدکننده به ۰/۲مولار حذف ماده آلی کاهش یافت و در زمان ۱۸۰ دقیقه به ۴۴ درصد رسید. بنابراین نسبت بهینه پراکسید هیدروژن به ۴- کلروفنل به مقدار ۱۲۸ به عنوان مبنا برای انجام سایر آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

- تأثیر pH در کارایی سیستم

سرعت واکنش‌های شیمیایی به pH محیط وابسته می‌باشند و pH به صورت مستقیم و غیر مستقیم بر اکسیداسیون مواد تأثیر می‌گذارد. در واکنش‌های اکسیداسیون شیمیایی نیز pH از طریق تأثیر بر تولید رادیکال هیدروکسیل، بر راندمان اکسیداسیون تأثیر می‌گذارد (۷). در سیستم توأم فرایند اکسیداسیون پیشرفته و مایکروویو نیز همانند واکنش‌های اکسیداسیون فتو شیمیایی، رادیکال‌های هیدروکسیل تولید می‌گردند و بنابراین pH می‌تواند از طریق تولید رادیکال هیدروکسیل بر راندمان اکسیداسیون تأثیرگذار باشد (۱۱).

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]

www.mui.ac.ir

نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان می‌دهند که در pH قلیایی نسبت به شرایط اسیدی و خنثی میزان درصد حذف ماده آلی به نسبت بیشتر است (نمودار ۴).

دو دلیل عمده را می‌توان برای آن در نظر گرفت؛ نخست، تولید رادیکال‌های هیدروکسیل بیشتر می‌شود و دوم، امکان جذب بهتر امواج مایکروویو توسط ۴- کلروفنل به دلیل حضور آنیون‌ها فراهم می‌شود. سایر نتایج منتشر شده در این زمینه نیز نشان دادند که سرعت واکنش تجزیه ۴- کلروفنل به pH وابسته است و در شرایط اسیدی (pH = ۲) و قلیایی (pH = ۱۰) سرعت واکنش افزایش یافته است که این افزایش در شرایط قلیایی بیشتر است (۱۱).

نمودار ۴. تجزیه ۴- کلروفنل به عنوان تابعی از pH در سیستم MW/H_2O_2

(C_0 = ۱۰۰ mg/L)، H_2O_2 = ۰/۱ M

- تأثیر مقادیر مختلف انرژی مایکروویو

اکثر مایکروویوهای خانگی در مقادیر مختلف انرژی ۹۰۰-۹۰ وات می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. نتایج تأثیر انرژی مایکروویو بر تجزیه این ماده آلی در نمودار ۵ نشان داده شده است. به این ترتیب با افزایش مقدار انرژی مایکروویو میزان تجزیه ماده آلی افزایش می‌یابد. به طوری که در زمان ۱۸۰ دقیقه، میزان حذف ۴- کلروفنل به ترتیب ۸۵/۴، ۸۹ و ۹۳ درصد در سه انرژی مختلف ۱۸۰، ۳۶۰ و ۶۰۰ وات در سیستم MW/H_2O_2 به دست آمد.

نمودار ۵. مقایسه درصد کاهش ۴- کلروفنل در مقادیر متفاوت انرژی در سیستم MW/H_2O_2

(C_0 = ۱۰۰ mg/L)، H_2O_2 = ۰/۱ M

pH =۱۰/۵ ،

- تأثیر غلظت‌های اولیه ۴- کلروفنل در کارایی سیستم

نمودار ۶ نتایج این مرحله از انجام آزمایش‌ها رانشان می‌دهند. نتایج بیانگر آن می‌باشند که با افزایش غلظت ماده آلی میزان تجزیه آن با گذشت زمان کاهش می‌یابد. به گونه‌ای که در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بعد از مدت زمان ۹۰ دقیقه ۸۱/۷ درصد ماده آلی حذف شدند و با افزایش غلظت اولیه ماده به ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بعد از مدت زمان ۹۰ دقیقه، ۱۶ درصد حذف شدند و برای رسیدن به مقدار حذف ۲۳ درصدی، مدت زمانی در حدود ۱۸۰ دقیقه لازم است.

نمودار ۶. مقایسه سرعت واکنش تجزیه غلظت نسبی ۴- کلروفنل درمقادیر متفاوت H_2O_2 در سیستم MW/H_2O_2 در نسبت $H_2O_2/4\text{-}CP$ بهینه و pH =۱۰/۵

- تأثیر مایکروویو به تنهایی در تجزیه ۴- کلروفنل

نتایج این مرحله از پژوهش (نمودار ۳) نشان می‌دهند که استفاده از امواج مایکروویو به تنهایی قادر است در زمان ۱۸۰ دقیقه تنها ۷ درصد ۴- کلروفنل را حذف نماید که ناشی از تأثیر گرمای ناشی از امواج مایکروویو است. این نتایج عدم کارایی استفاده از امواج مایکروویو در اکسیداسیون مواد آلی را نشان می‌دهند. همچنین در پژوهشی با استفاده از سیستم MW به تنهایی، کاهش ۲/۵ درصد ۴- کلروفنل را در زمان ۱۲۰ دقیقه گزارش نموده است (۷).

- مطالعات کینتیکی

نتایج مربوط به تعیین درجه واکنش نشان می‌دهند که سرعت کاهش ۴- کلروفنل به صورت تابعی از زمان تماس و واکنش از نوع درجه اول می‌باشد و با معادله ۱ مطابقت دارد.

$$\ln(C/C_\circ) = -kt \qquad \text{(معادله ۱)}$$

در این معادله C و C_0 غلظت ۴- کلروفنل در زمان تابش صفر و t، K ثابت سرعت واکنش درجه اول بر حسب (L/min) و t زمان تابش بر حسب دقیقه می‌باشند (۱۲).

ثابت سرعت واکنش در سیستم MW/H_2O_2 وMW در شرایط بهینه در این مطالعه به ترتیب ۰/۰۱۲ و ۰/۰۰۴ بر دقیقه به دست آمد.

- مقدار انرژی مصرفی

توجه به ملاحظات اقتصادی یک گزینه مهم در راهبری و انتخاب یک فن آوری در سیستم‌های مختلف می‌باشد. یکی از این فاکتورهای مهم اقتصادی که نقش مهمی در توسعه واحدهای مختلف و همچنین توجیح‌پذیری قبول و یا عدم پذیرش یک پروژه دارد، مقدار انرژی مصرفی است. بر این

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]

www.mui.ac.ir

اساس، میزان انرژی مصرفی در شرایط بهینه در سیستم MW/H_2O_2، $pH = ۱۰/۵$، $H_2O_2 = ۰/۱$ M، $E = ۶۰۰$ W، زمان تماس ۱۸۰ دقیقه و میزان حذف ۹۳ درصدی ماده آلی برابر ۱۷۴۶۰ کیلووات ساعت به ازای تجزیه یک کیلوگرم ۴- کلروفنل است.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهند که سرعت تجزیه ۴- کلروفنل با استفاده از امواج مایکروویو به عوامل متعددی نظیر pH، غلظت پراکسید هیدروژن به عنوان ماده اکسیدکننده، نسبت مولی H_2O_2 به ۴- کلروفنل، انرژی مایکروویو (وات) و غلظت اولیه ماده آلی بستگی دارد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که هر چند استفاده توأم از امواج مایکروویو و پراکسید هیدروژن می‌تواند سبب افزایش تجزیه این ماده آلی نسبت به امواج مایکروویو به تنهایی گردد؛ ولی به علت افزایش زمان ماند و غلظت بالای ماده آلی در خروجی، می‌بایست سایر روش‌های متداول دیگر نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان که زمینه انجام این پژوهش را فراهم نمودند (طرح تحقیقاتی شماره ۲۸۶۰۵۷) کمال تشکر و امتنان را دارد.

References

1. U.S.Environmental Protection Agency. Advanced photochemical oxidation processes: handbook. Ohio: U.S. Environmental Protection Agency; 1998. p. 1-15.
2. INCHEM. International Programme on Chemical, Evironmental Health Criteria 93. Chlorophenols Other than Pentachloro phenol. Geneva: World Health Organization; 1989.
3. Garny V, Lecloux A, Papp R. Euro Chlor Risk Assessment for the Marine Environment Osparcom Region: North Sea -Principles and Purposes -Environmental Monitoring and Assessment 2002; 53(3): 395-99.
4. Rodriguez M. Fenton and UV-V is Based Advanced Oxidation Processes in Wastewater Treatment: Degradation, Mineralization and Biodegradability Enhancement, [PhD Thesis] Barcelona: Department of Chemical Engineering, University of Barcelona; 2003.
5. Ramtohul Y K. Microwave in Organic Chemistry Stoltz Group Literature Presentation [Online]. 2006; Available from: URL: www.*stoltz.caltech.edu/litmtg/2003/yeeman-lit-6_11_03.pdf* /
6. De la HA, Diaz-Ortiz A, Moreno A. Microwaves in organic synthesis. Thermal and non-thermal microwave effects. Chem Soc Rev 2005; 34(2): 164-78.
7. Zhihui A, Peng Y, Xiaohua L. Degradation of 4-chlorophenol by microwave irradiation enhanced advanced oxidation processes. Chemosphere 2005; 60(6): 824-7.
8. Lai TL, Yong KF, Yu JW, Chen JH, Shu YY, Wang CB. High efficiency degradation of 4-nitrophenol by microwave-enhanced catalytic method. J Hazard Mater 2011; 185(1): 366-72.
9. Zhao Y, Chen Q, Hou H, He J. Photolysis of gaseous butyl acetate using built-in microwave discharge electrodeless lamps. J Hazard Mater 2011; 186(1): 430-5.
10. Eaton AD, Franson MA, American Public Health Association. Standard methods for the examination of water & wastewater. 20th ed. Washington (DC): American Public Health Association; 2005.
11. Ai Z, Yang P, Lu X. Degradation of 4-chlorophenol by a microwave assisted photocatalysis method. J Hazard Mater 2005; 124(1-3): 147-52.
12. Metcalf & Eddy. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2003.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]

www.mui.ac.ir

4-Chlorophenol oxidation combined with the application of advanced oxidation technology and the modified microwave in chemical and petrochemical wastewater industry*

Abdolmatelleb Sidmohammadi[1], Ghorban Asgari[2], Afshin Ebrahimi[3], Zahra Sharifi[4], Hossein Movahedian Attar[5]

Abstract

Introduction: There are many varieties of compounds in chemical and petrochemical wastewater. One of the important members of the Chlorophenols (CPs) family is ρ-chlorophenol. This pollutant is introduced into the environment through various human activities such as waste incineration, uncontrolled use of wood preservatives, pesticides, fungicides and herbicides, as well as via bleaching the pulp with chlorine, chlorination of drinking water and wastewater.

Methods: Experiments with microwave irradiation were carried out in a modified domestic microwave oven with the cooling system (2450MHz, SAMSUNG Co.). The oxidation rate was influenced by many factors, such as the pH value, the amount of hydrogen peroxide, the irradiation time, the initial concentration of organic material and the microwave power.

Findings: The result showed that the optimum conditions obtained for the best degradation rate was pH = 10.5, the H_2O_2 concentration of about 0.1 mol/L and the microwave irradiation power of about 600W for the microwave/H_2O_2 system at constant ρ-chlorophenol concentration. The degradation of ρ-chlorophenol by different types of oxidation processes were followed by the first order rate decay kinetics.

Conclusion: The energy consumption for UV/H_2O_2 in degradation of p-Chlorophenol (93%) and the reaction time of 180 min was 17460 KWh/kg p-Chlorophenol removing.

Key words: Advanced Oxidation Photochemical, 4-Chlorophenol, MW Radiation, Hydroxyl

*This article was extracted from research project No. 286057 by Isfahan University of Medical Sciences.

1- Faculty Member, Department of Environmental Health, School of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.
2- Faculty Member, Department of Environmental Health, School of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran (Corresponding Author) Email: asgari@umsha.ac.ir
3- Assistant Professor, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.
4- BSc of Environmental Health, Water and Wastewater Laboratory, Hamadan Health Center, Hamadan, Iran.
5- Professor, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-13]

www.mui.ac.ir