Volume 4, Issue 2, Summer 2018

Original article

Investigation of Photochemical Oxidation Efficiency Process Using H_2O_2 (UV/ H_2O_2) in Mineralization of 4-Chlorophenol IN Aqueous Environment

Majid Kermani[1]
Ali Esrafili[2]
Roghaye Piri[3]
Seyedeh Nastaran Asadzadeh[4*]

1- Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3- Ph.D student of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran
4- MSc in Environmental Engineering, Faculty of Electrical, Computer, and Environmental Health engineering, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran

***Corresponding author:** Seyedeh Nastaran Asadzadeh, Faculty of Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

Email: snasadzadeh3@gmail.com

Received: 21 July 2018
Accepted: 21 September 2018

ABSTRACT

Introduction and purpose: Chlorophenol is known as one of the toxic and dangerous pollutants in industrial wastewaters that's a essential to it's removal from industrial wastewaters and ground waters. The aim of this study was to investigate the efficiency of 4-Chlorophenol (4-CP) degradation using Ultraviolet/Hydrogen Peroxide process (UV/H_2O_2).

Methods: The variables of the present study included initial concentration of pollutant, contact time, pH, and H_2O_2 concentration on 4-Chlorophenol removal on a laboratory scale. The concentration of residual 4-Chlorophenol was determined using UV/Visible at a wavelength of 280nm. In addition, the amount of mineralization in optimal conditions was evaluated using the measurement of total organic carbon (TOC) removal range according to the standard method 5310- B. Synthetic models of the process were also investigated.

Results: The optimum removal efficiency of 4-CP by UV/H_2O_2 process regarding the concentration of hydrogen peroxide was 580 mg/L. pH of 3 and initial 4-CP concentration was obtained as 380 mg/L, and the presence of UV rays with a wavelength of 254 nm during 30m contact was 84.92% . In addition, 84.69% of the TOC was removed under the optimal condition. Moreover ,it was found that the data followed the first-order synthetic models.

Conclusion: Considering the growing use of UV radiation in water treatment processes and the considerable efficiency of UV/ H_2O_2 process in removing 4-CP, this method can be proposed for the elimination of 4-CP after performing cost-benefit analyses. It can be concluded that with regard to purification goals and standards for wastewater treatment, UV/ H_2O_2 process can be used as a pre or final treatment.

Keywords: Degradation, Hydroxyl radicals, 4-Chlorophenol, Mineralization, UV/H_2O_2 process

▶ **Citation:** Kermani M, Esrafili A, Piri R, Asadzadeh SN. Investigation of Photochemical Oxidation Efficiency Process Using H_2O_2 (UV/ H_2O_2) in Mineralization of 4-Chlorophenol IN Aqueous Environment. Journal of Health Research in Community. Summer 2018;4(2): 1-13.

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.24236772.1397.4.2.1.8]

مقاله پژوهشی

بررسی کارایی فرایند اکسیداسیون فتوشیمیایی بر پایه پراکسید هیدروژن (UV/H_2O_2) در معدنی‌سازی ٤-کلروفنل از محیط‌های آبی

مجید کرمانی[۱]
علی اسرافیلی[۲]
رقیه پیری[۳]
سیده نسترن اسدزاده[۴*]

۱. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
۲. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
۳. کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده برق، کامپیوتر و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران
۴. دانشجوی دکترای تخصصی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران

* نویسنده مسئول: سیده نسترن اسدزاده، انشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران

Email: snasadzadeh3@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۳۰

چکیده

مقدمه و هدف: کلروفنل از جمله آلاینده‌های سمی و خطرناک در پساب و فاضلاب‌های صنعتی می‌باشد که حذف آن از فاضلاب صنعتی و آب زیرزمینی ضروری است. در این ارتباط، مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی میزان تجزیه‌پذیری ۴-کلروفنل با استفاده از فرایند UV/H_2O_2 (Ultraviolet/ Hydrogen Peroxide) انجام شد.

روش کار: در مطالعه حاضر اثر متغیرها شامل: غلظت اولیه آلاینده، زمان تماس، pH و غلظت H_2O_2 بر حذف ۴-کلروفنل در مقیاس آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت و غلظت ۴-کلروفنل باقی‌مانده با استفاده از دستگاه UV/Visible در طول موج ۲۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. علاوه‌براین، میزان معدنی‌سازی در شرایط بهینه از طریق سنجش میزان حذف TOC (Total Organic Carbon) مطابق با روش ۵۳۱۰B استاندرد اندازه‌گیری گردید. مدل‌های سینتکی فرایند نیز مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: در این مطالعه بازده بهینه حذف ۴-کلروفنل توسط فرایند UV/H_2O_2 در غلظت پراکسید هیدروژن ۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر، pH=۳، غلظت اولیه ۴-کلروفنل ۳۸۰ میلی‌گرم بر لیتر و حضور اشعه UV با طول موج ۲۵۴ نانومتر در زمان تماس ۳۰ دقیقه معادل ۸۴/۹۲ درصد به‌دست آمد. علاوه‌براین، در شرایط بهینه ۸۴/۶۹ درصد از کل کربن آلی حذف گردید. شایان ذکر است که داده‌ها از مدل سینتیکی درجه اول کاذب تبعیت داشتند.

نتیجه‌گیری: با توجه به افزایش استفاده از اشعه فرابنفش در فرایندهای تصفیه آب و بازده قابل قبول فرایند UV/H_2O_2 برای حذف آلاینده ۴-کلروفنل، پس از آنالیزهای سود- هزینه، استفاده از این روش برای حذف ۴-کلروفنل پیشنهاد می‌شود. بر مبنای نتایج، فرایند UV/H_2O_2 با درنظرداشتن اهداف تصفیه و استانداردهای موجود جهت تخلیه پساب می‌تواند به‌عنوان پس‌تصفیه و یا تصفیه نهایی پساب به کار گرفته شود.

کلمات کلیدی: تجزیه، رادیکال هیدروکسیل، ۴-کلروفنل، معدنی‌سازی

◀ **استناد:** کرمانی، مجید؛ اسرافیلی، علی؛ پیری، رقیه؛ اسدزاده، سیده نسترن. بررسی کارایی فرایند اکسیداسیون فتوشیمیایی بر پایه پراکسید هیدروژن (UV/H_2O_2) در معدنی‌سازی ۴-کلروفنل از محیط‌های آبی. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، تابستان ۱۳۹۷؛۴(۲): ۱۳-۱.

مقدمه

با گسترش روزافزون صنایع و افزایش آلودگی‌های ناشی از آن، توجه به مسأله حفظ محیط زیست و کنترل آلاینده‌ها

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1397.4.2.1.8]

بیش از پیش احساس می‌گردد. در حال حاضر، صنایع علت اصلی آلودگی قسمت وسیعی از منابع آبی مختلف در کره زمین به شمار می‌آیند [۱]. در بین ترکیبات شیمیایی موجود در پساب‌های صنعتی، ترکیبات فنلی (فنل و مشتقات آن) یکی از ترکیبات فراگیری است که علاوه بر روش‌های مصنوعی، از طریق طبیعی نیز وارد منابع آب می‌شود [۲]. فنل یا هیدروکسی بنزن به‌عنوان یکی از آروماتیک‌های سمی در آب و فاضلاب از مهم‌ترین آلاینده‌های آلی محسوب می‌شود. این ماده از طریق دفع پساب تعدادی از صنایع مانند زغال سنگ، کک‌سازی، پتروشیمی، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها، حلال‌ها و رزین به محیط زیست وارد شده و سبب ایجاد آلودگی به‌ویژه در منابع آبی می‌گردد [۳]. این ترکیبات به دلیل ساختمان فیزیکی در بیشتر ترکیبات شیمیایی و حتی در فاضلاب‌های شهری نیز وجود دارند و به دلیل پایداری در محیط، قابلیت انحلال در آب و مشکلات بهداشتی مورد توجه هستند [۴]. سازمان حفاظت از محیط زیست (EPA: Environmental Protection Agency) این ترکیبات را در گروه آلاینده‌های متقدم (دارای اولویت بالا) قرار داده است [۲]. ۴-کلروفنل با فرمول شیمیایی C_6H_5ClO یکی از انواع کلروفنل‌هایی می‌باشد که به دلیل اینکه در آن کلر جایگزین هیدروژن شماره ۴ در حلقه بنزنی فنل شده است، به نام‌های ۴-کلروفنل و یا کلرو-۴-هیدروکسی بنزن در بازار موجود می‌باشد [۷-۵]. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ۴-کلروفنل در جدول ۱ نشان داده شده است [۵].

این آلاینده به وسیله پوست، تنفس و گوارش وارد بدن می‌شود و منجر به آسیب به مجاری تنفسی، سیستم اعصاب مرکزی، سیستم ایمنی، آسیب‌های ذهنی، آسیب به کبد، کلیه و خون، استفراغ و کم‌اشتهایی می‌گردد [۱۱-۸]. بر این اساس، پژوهشگران حد مجاز فنل موجود در آب آشامیدنی را ۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر لیتر برآورد نموده‌اند [۱۱].

جدول ۱: مشخصات فیزیکی و شیمیایی ۴-کلروفنل در شرایط استاندارد (۱۰۰ کیلو پاسکال؛ ۲۵ درجه سانتی‌گراد)

فرمول شیمیایی	C_6H_5CLO
حالت ماده	جامد
وزن مولکولی	۱۲۸/۵۶ گرم در مول
نقطه ذوب	۴۳/۲ درجه سانتی‌گراد
دانسیته	۱/۲۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب
رنگ	زرد

سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا (ESEPA) حد مجاز فنل موجود در آب‌های سطحی و حد مجاز غلظت فنل در فاضلاب صنایع قبل از تخلیه به محیط زیست را به‌ترتیب ۰/۰۰۱ و ۱ میلی‌گرم بر لیتر اعلام نموده است [۱۲]. فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته یکی از مؤثرترین و کارآمدترین فناوری‌ها برای تجزیه و حذف آلاینده‌های آلی خطرناک، مقاوم و غیرقابل‌تجزیه بیولوژیکی از محیط‌های آبی می‌باشند که در طول چند دهه گذشته در سطح وسیعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و جایگاه مهمی را در تصفیه آب و فاضلاب کسب نموده‌اند. مکانیسم اصلی این فرایند براساس تولید رادیکال هیدروکسیل است که یک عامل اکسیدکننده بسیار قوی و کارآمد بوده و تقریباً از توانایی اکسیداسیون بیشتر ترکیبات آلی (به سرعت و غیرگزینشی) به دی‌اکسیدکربن، آب و اسیدهای آلی برخوردار می‌باشد. به‌طور کلی، معمولی‌ترین فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته که در حذف آلاینده‌های آلی به کار رفته‌اند و به‌طور عمده در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، عبارت هستند از: فتولیز تحت تابش فرابنفش، ترکیبی از هیدروژن پراکسید، ازن و تابش اشعه فرابنفش، فتوکاتالیستی هموژنیک با فنتون، فتوکاتالیستی هتروژنیک با مواد نیمه‌هادی مانند دی‌اکسید تیتانیوم و سونولیز تحت تابش امواج اولتراسوند [۱۵-۱۳].

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1397.4.2.1.8]

فرایند فتولیز فرایندی است که طی آن فوتون‌ها به وسیله ترکیبات جذب می‌شوند و انرژی آزادشده صرف پیشبرد فرایندهای اکسیداسیون و احیا می‌گردد. پرتو فرابنفش بخشی از پرتو الکترومغناطیسی است که محدوده طول موج آن ۴۰۰-۱۰۰ نانومتر می‌باشد. یکی از ویژگی‌های اصلی پرتو فرابنفش این است که فوتون‌های مربوط به طول موج این پرتو از انرژی کافی برای ایجاد حالت الکترونیکی برانگیخته در بیشتر اتم‌ها یا مولکول‌ها برخوردار می‌باشند. باید خاطرنشان ساخت که حالت برانگیخته معمولاً ناپایدار بوده و در برگشت به حالت کم‌انرژی‌تر، انرژی آزادشده می‌تواند موجب پیشبرد واکنش‌های شیمیایی گردد [۱۶،۱۷].

استفاده از اشعه فرابنفش به همراه یک ماده اکسیدکننده مناسب مانند H_2O_2 روش مناسبی برای حذف آلاینده‌های آلی مقاوم در برابر تجزیه بیولوژیکی مانند علف‌کش‌ها می‌باشد. جذب فوتون توسط مولکول H_2O_2 آن را به دو رادیکال هیدروکسیل تفکیک می‌کند. این رادیکال‌ها از طریق گرفتن هیدروژن قادر هستند به مولکول‌های آلی حمله کنند و تحت شرایط عملیاتی مناسب، محصولات نهایی آب، دی‌اکسید کربن و اکسیدهای معدنی را تولید نمایند [۱۸]. در سال‌های اخیر پژوهشگران بسیاری حذف آلاینده فنل و مشتقات آن با استفاده از فرایند فتوکاتالیستی را مطالعه نموده‌اند. همچنین، برخی از پژوهشگران به بررسی میزان حذف فنل با استفاده از پوست سبز گردو در محیط آبی پرداخته و نشان داده‌اند که حذف فنل به میزان ۹۹/۹ درصد در شرایط آزمایشی رخ می‌دهد [۱۹].

Gaya و همکاران در مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۹ با استفاده از فرایند UV/ZnO به بررسی تجزیه فتوکاتالیستی ۴-کلروفنل پرداختند که بالاترین راندمان حذف در مدت زمان سه ساعت با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر آلاینده به‌دست آمد [۲۰].

ملکوتیان و همکاران نیز در سال ۱۳۹۰ به بررسی حذف فنل با استفاده از فرایند فنتون پرداختند که در شرایط بهینه با غلظت فنل ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، pH= ۳-۴ و زمان تماس ۳۰ دقیقه به راندمان حذف ۹۶ درصد دست یافتند [۲۱].

با توجه به مصرف گسترده ۴ -کلروفنل در صنایع و آلودگی احتمالی آب‌های سطحی و زیرزمینی و نیز از آنجایی که تاکنون پژوهشی در ارتباط با تجزیه و معدنی‌سازی این آلاینده با استفاده از فرایند UV/H_2O_2 صورت نگرفته است، در مطالعه حاضر کارایی حذف ۴-کلروفنل با استفاده از فرایند اکسیداسیون فتوشیمیایی بر پایه پراکسید هیدروژن مورد بررسی قرار گرفت.

روش کار

پژوهش مقطعی حاضر از نوع مطالعات تجربی در مقیاس آزمایشگاهی بود و در آزمایشگاه پایلوت دانشگاه آزاد اسلامی واحد غرب تهران انجام شد. در این پژوهش اثر پارامترهایی مانند غلظت پراکسید هیدروژن، pH محلول، غلظت اولیه ۴-کلروفنل و زمان تماس بر کارایی حذف بررسی گردید. سینتیک تجزیه ۴-کلروفنل نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

راکتور مورد استفاده

برای انجام این پژوهش یک دستگاه راکتور استوانه‌ای شکل حاوی یک عدد لامپ فرابنفش جیوه‌ای با شدت ۵۰۰۰۰ میکرووات در ثانیه بر سانتی‌متر مربع و طول موج ۲۵۴ نانومتر با روکش محافظ استیل که در داخل مخزنی از جنس پلی‌اتیلن به حجم ۱/۵ لیتر قرار داشت، مورد استفاده قرار گرفت.

روش انجام کار

حجم نمونه با استفاده از روش One Factor at the Time تعیین گردید و آزمایشات با دو بار تکرار انجام شدند. محلول مادر ۴-کلروفنل مورد مطالعه (۱۲۸/۵۶ میلی‌گرم بر لیتر) با استفاده از حل‌کردن ۱۲۸/۵۶ گرم ۴-کلروفنل در یک لیتر آب مقطر تهیه

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1397.4.2.1.8]

شد. سپس از محلول مادر، محلول واسطه ۳۸ میلی‌گرم بر لیتر و از آن، محلول‌های استاندارد ۰/۰۶۴ تا ۰/۶۴ میلی‌گرم بر لیتر برای انجام آزمایش تهیه گردیدند. لازم به ذکر است که میزان pH با استفاده از دستگاه pH متر (مدل Crison، ساخت کشور اسپانیا) و اضافه‌کردن اسید سولفوریک و سدیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال در مقادیر ۳، ۷ و ۱۰ تنظیم شد. براساس مطالعات صورت‌گرفته، ابتدا غلظت پراکسید هیدروژن (۳۴، ۳۴۰، ۵۸۰، ۱۱۲۰ و ۱۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، سپس pH (۳، ۷ و ۱۰)، غلظت اولیه آلاینده (۶۴، ۱۲۸، ۱۹۰، ۳۸۰ و ۶۴۰ میلی‌گرم بر لیتر) و در نهایت میزان معدنی‌سازی در شرایط بهینه به‌دست‌آمده در زمان‌های تماس ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ دقیقه سنجیده شد. باید عنوان نمود که غلظت ۴-کلروفنل ورودی و خروجی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Visible (مدل T 80+، ساخت کشور ژاپن) در طول موج ۲۸۰ نانومتر قرائت گردید [۲۴-۲۲]. تعیین میزان معدنی‌سازی نیز با استفاده از روش ذکرشده در روش استاندارد با استفاده از دستگاه TOC Analayzer (مدل TOC-L Shimatzu) انجام شد [۲۲]. در نهایت، داده‌های به‌دست‌آمده از مراحل گوناگون آزمایش‌ها و نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های جمع‌آوری‌شده و سایر پارامترهای اندازه‌گیری به کمک نرم‌افزار Excel تجزیه و تحلیل گردیدند. سینتیک تجزیه ۴-کلروفنل در شرایط بهینه به‌دست‌آمده نیز مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها

تأثیر غلظت‌های مختلف پراکسید هیدروژن

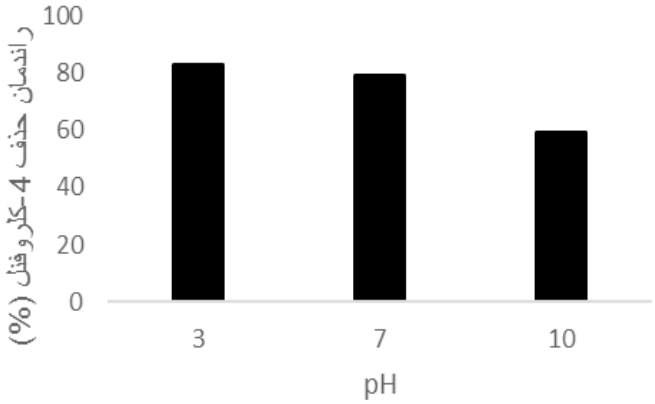
به‌منظور بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف پراکسید هیدروژن، این ماده در غلظت‌های ۳۴، ۳۴۰، ۵۸۰، ۱۱۲۰ و ۱۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به محلول با غلظت ۶۴۰ میلی‌گرم بر لیتر ۴-کلروفنل در pH طبیعی (pH=۸/۵) افزوده شد. شایان ذکر است که افزایش غلظت پراکسید هیدروژن باعث افزایش راندمان فرایند فتولیز می‌شود؛ اما این افزایش تا حد معینی (۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر) است؛ بنابراین مقدار بهینه پراکسید هیدروژن در فرایند UV/H_2O_2 برای محلول فوق ۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.

در نمودار ۱ در ارتباط با فرایند UV/H_2O_2 مشاهده می‌شود که

نمودار ۱: مقایسه سرعت واکنش تجزیه غلظت نسبی ۴-کلروفنل با استفاده از فرایند UV/H_2O_2 (غلظت‌های اولیه مختلف H_2O_2؛ غلظت ۴-کلروفنل= ۶۴۰ میلی‌گرم بر لیتر؛ pH طبیعی= ۸/۵)

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1397.4.2.1.8]



نمودار ۲: راندمان حذف ۴-کلروفنل با استفاده از فرایند UV/H_2O_2 در pH مختلف پس از زمان تابش ۳۰ دقیقه (غلظت ۴-کلروفنل= ۶۴۰ میلی‌گرم بر لیتر؛ H_2O_2= ۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر)

با افزایش زمان تماس، بازده حذف آلاینده در تمامی غلظت‌های پراکسید هیدروژن افزایش یافته است.

تأثیر pH

به‌منظور بررسی اثر pH بر راندمان حذف ۴-کلروفنل، محلول ۶۴۰ میلی‌گرم بر لیتر آلاینده و غلظت بهینه پراکسید هیدروژن (۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر) با pH متفاوت (۳، ۷ و ۱۰) تماس داده شد و pH با استفاده از سود و اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال تنظیم گردید. تغییرات راندمان حذف ۴-کلروفنل به‌عنوان تابعی از pH محلول در نمودار ۲ ارائه شده است. مطابق با این نمودار با کاهش pH، راندمان حذف ۴-کلروفنل افزایش می‌یابد؛ به نحوی که در محیط اسیدی (pH=۳) دارای بیشترین راندمان حذف می‌باشد.

بررسی تأثیر غلظت اولیه ۴-کلروفنل

به‌منظور بررسی غلظت اولیه ۴-کلروفنل بر راندمان حذف، غلظت‌های متفاوتی از ۴-کلروفنل در محدوده ۶۴، ۱۲۸، ۱۹۰، ۳۸۰ و ۶۴۰ میلی‌گرم بر لیتر در شرایط بهینه پراکسید هیدروژن، pH و زمان تابش ۳۰ دقیقه تماس داده شد. با توجه به شکل مشاهده می‌گردد که با افزایش غلظت آلاینده و ثابت‌ماندن مقدار و سایر شرایط، میزان حذف ۴-کلروفنل به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است (نمودار ۳).

بررسی سینتیک تجزیه ۴-کلروفنل

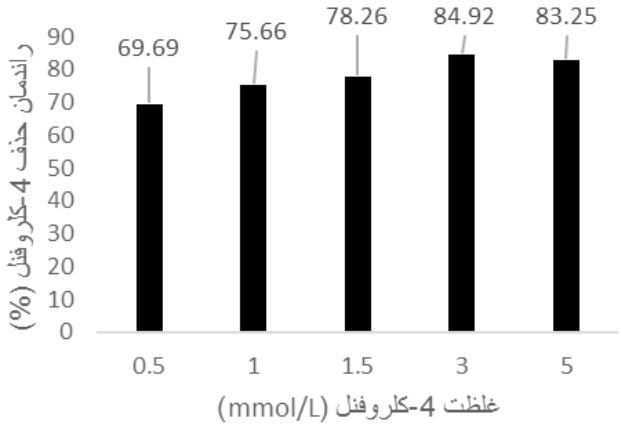
در این مرحله مدل‌های سینتیکی درجه صفر، اول و دوم بررسی شدند که نتایج حاصل از آن در نمودار ۴ ارائه شده است. بر مبنای نتایج، سینتیک تجزیه ۴-کلروفنل از سینیتیک درجه یک کاذب پیروی کرده و ثابت سرعت واکنش در شرایط بهینه ۰/۰۳۹۸ دقیقه می‌باشد. شایان ذکر است که ملاک انتخاب مناسب‌ترین و مطابق‌ترین مدل، ضریب رگرسیون خطی می‌باشد.

بررسی میزان معدنی‌سازی محلول

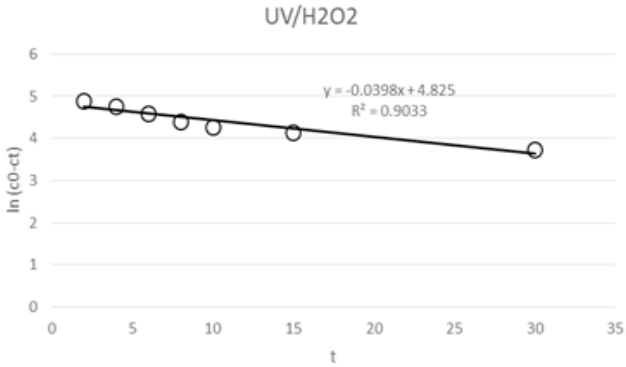
در این مرحله میزان حذف TOC تحت شرایط بهینه و پس از پایان زمان واکنش (۳۰ دقیقه) مورد سنجش قرار گرفت. مقدار TOC در ورودی راکتور حاوی غلظت ۳۸۵/۶۸ میلی‌گرم بر لیتر ۴-کلروفنل در شرایط بهینه ۱۴۷/۳ میلی‌گرم بر لیتر بود که پس

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-10-12]

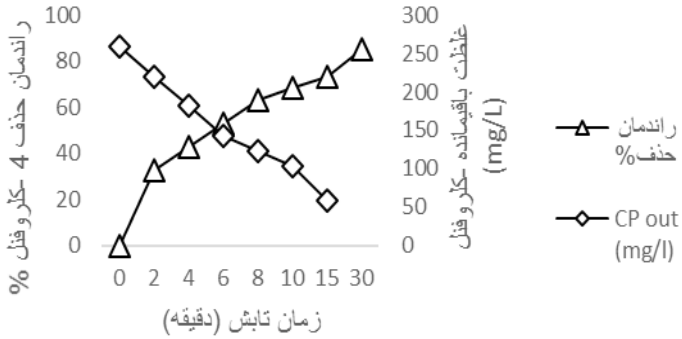
[DOR: 20.1001.1.24236772.1397.4.2.1.8]



نمودار ۳: راندمان حذف ۴-کلروفنل با استفاده از فرایند UV/H_2O_2 در غلظت‌های مختلف آلاینده پس از زمان تابش ۳۰ دقیقه (H_2O_2= ۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر؛ pH=۳)



نمودار ۴: مدل سینتیک درجه یک کاذب تجزیه ۴-کلروفنل در فرایند UV/H_2O_2 در شرایط بهینه (غلظت ۴-کلروفنل= ۳۸۰ میلی‌گرم بر لیتر؛ H_2O_2= ۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر؛ pH=۳)



نمودار ۵: راندمان حذف ۴-کلروفنل با استفاده از فرایند UV/H_2O_2 (غلظت ۴-کلروفنل= ۳۸۰ میلی‌گرم بر لیتر؛ H_2O_2= ۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر؛ pH=۳)

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1397.4.2.1.8]

از ۳۰ دقیقه به ۳۳ میلی‌گرم بر لیتر در خروجی رسید که این امر نشان‌دهنده ۸۴/۶۹ درصد معدنی‌سازی می‌باشد.

مقایسه سرعت واکنش فرایندهای UV به‌تنهایی، H_2O_2 به‌تنهایی و UV/H_2O_2

فرایند UV و پراکسید هیدروژن هریک به تنهایی به اندازه کافی قادر به تشکیل رادیکال آزاد هیدروکسیل نمی‌باشند؛ از این رو، دارای ثابت سرعت واکنش پایین‌تری نسبت به فرایند توأم UV/H_2O_2 هستند و نیاز به زمان واکنش بالاتری برای تجزیه آلاینده دارند (جدول ۲).

جدول ۲: ضرایب ثابت سینتیکی حذف ۴-کلروفنل در فرایندهای UV، H_2O_2 و UV/H_2O_2

Process	$K(min^{-1})$	$T_{1/2}(min)$	R^2
UV alone	۰/۰۰۴	>۳۰	۰/۷۴۱۳
H_2O_2 alone	۰/۰۰۲۵	>۳۰	۰/۳۲۲۱
UV/H_2O_2	۰/۰۳۹۸	<۶	۰/۹۰۳۳

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه مشخص شد که بازده حذف آلاینده به دلیل مقاومت ۴-کلروفنل در برابر تابش امواج UV و H_2O_2 به‌تنهایی کمتر از فرایند UV/H_2O_2 می‌باشد. ترکیب امواج فرابنفش با پراکسید هیدروژن باعث تولید سریع‌تر رادیکال‌های هیدروکسیل شده و منجر به افزایش سرعت واکنش تجزیه آلاینده می‌گردد [۲۵]. بر مبنای نتایج، بازده بهینه حذف ۴-کلروفنل توسط فرایند UV/H_2O_2 در غلظت ۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر پراکسید هیدروژن، pH=۳، غلظت اولیه ۳۸۰ میلی‌گرم بر لیتر ۴-کلروفنل و زمان تماس ۳۰ دقیقه حاصل گردید.

یافته‌های حاصل از این پژوهش با نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش دانشور و همکاران که با تابش فرابنفش و پراکسید هیدروژن به‌طور مجزا انجام شد، مطابقت دارد. از آنجایی که عامل اصلی تجزیه در محلول‌های پراکسید هیدروژن رادیکال آزاد هیدروکسیل است، توسط اشعه فرابنفش و پراکسیدهیدروژن به تنهایی نمی‌تواند به اندازه کافی رادیکال هیدروکسیل تشکیل شود [۲۶].

تأثیر غلظت پراکسید هیدروژن

افزودن پراکسید هیدروژن در بیشتر موارد منجر به افزایش نرخ اکسیداسیون فتوشیمیایی می‌گردد. به‌منظور حفظ کارایی H_2O_2 اضافه‌شده، انتخاب غلظت H_2O_2 متناسب با نوع و غلظت آلاینده ضرورت دارد. در پژوهش حاضر با افزایش غلظت پراکسید هیدروژن در گستره ۳۴ تا ۱۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در غلظت ۶۴۰ میلی‌گرم بر لیتر ۴-کلروفنل و pH طبیعی، راندمان حذف افزایش یافت؛ اما افزایش غلظت H_2O_2 بیشتر از ۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث کاهش راندمان حذف شد که دلیل آن ممکن است ناشی از این باشد که در غلظت‌های بالای پراکسید هیدروژن، این ترکیب به‌عنوان جمع‌کننده رادیکال‌های آزاد عمل می‌کند؛ بنابراین باعث کاهش رادیکال هیدروکسیل و افت تجزیه ماده ۴-کلروفنل طی زمان خواهد شد؛ در نتیجه، آب‌اکسیژنه به‌عنوان ازبین‌برنده رادیکال‌های هیدروکسیل (از طریق ترکیب مجدد رادیکال‌های هیدروکسیل) عمل نموده و کارایی حذف را کاهش می‌دهد [۳۱-۲۷]. در این زمینه، در مطالعه‌ای که در ارتباط با یک ماده آلی انجام شد، اثرات بازدارندگی H_2O_2 مازاد مشاهده گردید؛ به‌طوری که در غلظت پراکسید هیدروژن ۴ درصد، میزان اکسیداسیون ماده آلی به حدود ۷۰ درصد کاهش یافت [۳۲]. همچنین در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۰ توسط صید محمدی و همکاران در مورد تجزیه ۴-کلروفنل با استفاده از فرایند فنتون/ اولتراسونیک انجام شد،

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1397.4.2.1.8]

گزارش گردید که افزایش غلظت پراکسید هیدروژن به‌عنوان عامل اکسیدکننده، تا حد معینی سرعت واکنش را افزایش می‌دهد و زمانی که از آن حد معین بیشتر گردد، اثری معکوس در حذف آلاینده دارد [۱].

ملکوتیان و همکاران نیز در سال ۲۰۱۷ طی مطالعه‌ای تخریب ۴-کلروفنل به وسیله فرایند اکسیداسیون پیشرفته به روش پراکسون در غلظت‌های مختلف پراکسید هیدروژن (۰/۱، ۰/۰، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۰۱، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۰۵ مولار) را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که غلظت ۰/۰۰۱ مولار بهترین بازده را در حذف ۴-کلروفنل دارد [۳۳].

بررسی تأثیر pH

با توجه به اهمیت بالای pH در فرایند UV/H_2O_2 و یونیزه‌شدن ترکیبات آلی، در این مطالعه تأثیر pH در مقادیر مختلف در غلظت بهینه پراکسید هیدروژن (۵۸۰ میلی‌گرم در لیتر) در زمان واکنش ۳۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در نمودار ۲ نشان داده شده است، بیشترین راندمان حذف مربوط به محیط اسیدی می‌باشد که دلیل این امر افزایش‌یافتن خاصیت آب‌دوستی ترکیبات واسطه در pH اسیدی است. علاوه‌براین، رادیکال‌های هیدروکسیل در محیط اسیدی به‌عنوان اکسیدان غالب عمل نموده و خاصیت اکسیدکنندگی بیشتری خواهند داشت؛ درحالی که در شرایط قلیایی، رادیکال هیدروکسیل از حداکثر توان اکسیدکنندگی خود برخوردار نمی‌باشد [۳۶-۳۴].

با توجه به نمودار ۲ در غلظت ۶۴۰ میلی‌گرم بر لیتر ۴-کلروفنل، با استفاده از پراکسید هیدروژن با غلظت ۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر و PH محیط برابر با ۳، پس از ۳۰ دقیقه تابش اشعه UV راندمان حذف ۴-کلروفنل معادل ۸۳/۲۵ درصد به‌دست می‌آید. در این راستا، در مطالعه یوسفی و همکاران که در سال ۲۰۱۷ به بررسی حذف پاراکلروفنل با استفاده از فرایند الکتروفنتون و UV/TiO_2 پرداختند، گزارش گردید که pH=۳ بیشترین راندمان حذف فنل را دارد که این مهم با نتایج مطالعه حاضر همخوان می‌باشد [۳۷].

بررسی تأثیر زمان تماس

زمان واکنش به‌عنوان زمان مورد نیاز برای رسیدن به اهداف مورد نظر در یک فرایند تصفیه، یکی از متغیرهای مهم به‌منظور طراحی و راهبری یک فرایند اکسیداسیون محسوب می‌شود [۴۱-۳۸].

مطابق با نمودار ۱ با افزایش زمان تماس، راندمان حذف آلاینده افزایش می‌یابد که علت آن این واقعیت است که افزایش زمان باعث افزایش روند اکسایش و کاهش تولید رادیکال‌های مختلف از جمله رادیکال هیدروکسیل می‌شود؛ بنابراین آلاینده با سرعت بیشتری تجزیه می‌گردد [۴۲]. در پژوهشی که Lin و همکاران در مورد تجزیه فنل با استفاده از پرسولفات فعال‌شده با التراسونیک انجام دادند، دریافتند که با افزایش زمان تماس، بازده حذف فنل افزایش خواهد یافت [۴۳].

بررسی تأثیر غلظت‌های اولیه ۴ -کلروفنل

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت ماده ۴-کلروفنل، سرعت واکنش کاهش یافته است؛ به‌صورتی که سرعت واکنش برای غلظت ۳۸۰ میلی‌گرم بر لیتر ماده ۴-کلروفنل، بیشتر از سرعت واکنش مربوط به غلظت ۶۴ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. علت کاهش راندمان فنل‌زدایی و تجزیه ۴-کلروفنل در غلظت‌های بالاتر این است که با افزایش غلظت ۴-کلروفنل، نفوذ فوتون‌های نوری UV به داخل محلول کمتر می‌شود و به دنبال کاهش نفوذ این فوتون‌ها، تجزیه پراکسید هیدروژن به رادیکال‌های هیدروکسیل کاهش می‌یابد. بدین‌ترتیب هرچه بر میزان غلظت ماده ۴-کلروفنل افزوده شود، نفوذ فوتون‌های UV و به دنبال آن تولید رادیکال‌های هیدروکسیل کمتر شده و راندمان حذف کاهش خواهد یافت [۴۳]. نتایج سایر مطالعات نیز نشان‌دهنده این مطلب هستند که با افزایش

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1397.4.2.1.8]

غلظت آلاینده، سرعت واکنش کاهش یافته و به دنبال آن راندمان حذف نیز کاهش می‌یابد [۴۶-۴۴].

در این ارتباط، منشوری و همکاران در سال ۲۰۱۱ به بررسی حذف پاراکلروفنل و عوامل مؤثر بر آن توسط فرایند شبه فنتون پرداختند و با مقایسه غلظت‌های مختلف پاراکلروفنل به این نتیجه رسیدند که بین پارامترهای غلظت اولیه آلاینده (۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بیشترین راندمان حذف مربوط به غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد [۴۷].

بررسی میزان تجزیه ۴ -کلروفنل و معدنی‌سازی

در ارتباط با بررسی میزان تجزیه و معدنی‌سازی ۴-کلروفنل (نمودار ۵) نتایج نشان‌دهنده این مطلب هستند که پس از ۳۰ دقیقه تابش UV در شرایط بهینه، معدنی‌سازی به‌طور کامل صورت نگرفته و محصولات واسطه از ۴-کلروفنل تولید شده‌اند که به‌وجودآورنده TOC و دلیل عدم حذف کامل آن هستند؛ از این رو به‌منظور معدنی‌سازی بیشتر فرایند، یا باید زمان واکنش را طولانی‌تر کرد و یا از روش‌های تلفیقی مانند روش بیولوژیکی و غیره همراه با آن استفاده نمود [۴۸]. در نمودار ۵ نشان داده شده است که با افزایش تدریجی زمان تماس همراه با کاهش غلظت مواد آلی، میزان حذف TOC افزایش می‌یابد. در مطالعه Sharma که در ارتباط با حذف بیسفنول با استفاده از فرایند UV/PS انجام شد، بازده حذف TOC طی ۲۴۰ دقیقه معادل ۴۰ درصد و در زمان تماس ۳۶۰ دقیقه برابر با ۵۵ درصد گزارش گردید [۴۹].

بررسی سینتیک تجزیه ۴-کلروفنل

نتایج حاصل از مطالعه سینتیک تجزیه ۴-کلروفنل توسط فرایند UV/HP (نمودار ۴) نشان می‌دهد که مدل سینتیک درجه یک کاذب، مدل مناسبی برای توصیف سرعت واکنش می‌باشد و ثابت سرعت واکنش با افزایش غلظت ۴-کلروفنل کاهش می‌یابد.

نتایج نشان دادند که سرعت تجزیه ۴-کلروفنل به وسیله فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته به‌شدت افزایش می‌یابد. باید توجه داشت که سرعت اکسیداسیون به عوامل زیادی همچون غلظت پراکسید هیدروژن، مقدار pH، مدت زمان تابش فرابنفش و غلظت اولیه آلاینده بستگی دارد. بر مبنای نتایج، شرایط بهینه برای بهترین حذف غلظت ۵۸۰ میلی‌گرم بر لیتر پراکسید هیدروژن، pH=۳ و غلظت آلاینده ۳۸۰ میلی‌گرم بر لیتر در زمان واکنش ۳۰ دقیقه می‌باشد.

این روش با داشتن مزیت‌هایی مانند کاهش هزینه‌ها، عدم نیاز به دستگاه‌ها و وسایل آزمایشگاهی گران‌قیمت، سادگی و قابلیت به‌کارگیری در مناطق مختلف به‌منظور جلوگیری از آلودگی محیط زیست می‌تواند به‌عنوان فرایند تصفیه نهایی یا تصفیه تکمیلی در زمان واکنش طولانی‌تر و یا تلفیق با سایر روش‌های تصفیه مانند روش بیولوژیکی به کار برده شود.

قدردانی

مطالعه حاضر برگرفته از پایان‌نامه مصوب با عنوان "بررسی مقایسه‌ای کارایی فرایند اکسیداسیون فتوشیمیایی توأم با پراکسید هیدروژن و پرسولفات در حذف ۴-کلروفنل از فاضلاب سنتتیک" مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب در سال ۱۳۹۳ با کد ۲۲۸۴۰۴۲۵۹۳۱۰۱۴ می‌باشد. لذا نویسندگان مقاله از همکاری معاونت پژوهشی دانشگاه کمال تشکر را دارند.

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1397.4.2.1.8]

References

1. Mohammadi AS, Attar HM. P-chlorophenol oxidation in industrial effluent by ultrasonic/fenton technology. J Water Wastewater 2011; 22(4):80 (Persian).
2. Movahedyan H, Seid Mohammadi AM, Assadi A. Comparison of different advanced oxidation processes degrading p-chlorophenol in aqueous solution. Iran J Environ Health Sci Eng 2009; 6(3):153-60 (Persian).
3. Olmez-Hanci T, Arslan-Alaton I, Genc B. Bisphenol A treatment by the hot persulfate process: oxidation products and acute toxicity. J Hazard Mater 2013; 263:283-90.
4. Jamshidi N, Torabian A, Azimi A, Nabi Bidhendi GR, Jafarzadeh MT. Investigation of phenol removal in aqueous solutions using advanced photochemical oxidation (APO). J Water Wastewater 2010; 72:24-9 (Persian).
5. Du Y, Fu QS, Li Y, Su Y. Photodecomposition of 4-chlorophenol by reactive oxygen species in UV/air system. J Hazard Mater 2011; 186(1):491-6.
6. Eslami A, Aghayani E, Joshani G, Hezarkhani N, Momayyezi MH, Djahed B, et al. Removal of parachlorophenol from the aquatic environment by recycled used tires as an adsorbent: Characterization, adsorption, and equilibrium studies. J Adv Environ Health Res 2014; 2(1):44-53.
7. Gholizadeh A, Kermani M, Gholami M, Farzadkia M, Yaghmaeian K. Removal efficiency, adsorption kinetics and isotherms of phenolic compounds from aqueous solution using rice bran ash. Asian J Chem 2013; 25(7):3871-8.
8. Kermani M, Pourmoghaddas H, Bina B, Khazaei Z. Removal of phenol from aqueous solutions by rice husk ash and activated carbon. Pak J Biol Sci 2006; 9(10):1905-10.
9. Dianati Tilaki RM, Zazoli MA, Yazdani J, Alamgholilu M. Efficiency and kinetics studies of photocatalytic degradation of 4-chlorophenol from aqueous solutions by sunlight in the presence of zinc oxide nanoparticles. J Health 2015; 6(2):134-43 (Persian).
10. Shahamat YD, Zazouli MA, Asgharnia H, Dehghanifard E. Evaluation of rapid purification of high concentrations of 2, 4-dinitrophenol in wastewater using catalytic ozonation with carboneus nanocomposite. J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 25(133):138-49 (Persian).
11. Dianati-Tilaki RA, Zazoli MA, Yazdani J, Alam Gholilu M, Rostamali E. Degradation of 4-chlorophenol by sunlight using catalyst of zinc oxide. J Mazandaran Univ Med Sci 2014; 23(2):196-201 (Persian).
12. Akbari Jonoush Z, Farzadkia M, Dadban Shahamat Y, Esrafili dizaji A. Rapid removal of phenol from aqueous solutions by AC_Fe3o4 nano-composite: kinetics and equilibrium studies. J Mazandaran Univ Med Sci 2015; 24(122):158-68 (Persian).
13. Jimenez-Becerril J, Martinez-Hernandez A, Granados-Correa F, Zavala Arce RE. Methylene blue and 4-chlorophenol photodegradation using gamma-irradiated titanium oxide. J Chem Soc Pak 2013; 35(1):23-6.
14. Astarki S, Jafari A. 2-cholorophenol removal from aqueous solutions using electro/persulfate process. Yafteh 2015; 17(3):26-37 (Persian).
15. Akbari S, Ghanbari F, Moradi M. Bisphenol A degradation in aqueous solutions by electrogenerated ferrous ion activated ozone, hydrogen peroxide and persulfate: applying low current density for oxidation mechanism. Chem Eng J 2016; 294:298-307.
16. Masschelein WJ, Rice RG. Ultraviolet light in water and wastewater sanitation. Florida: CRC Press; 2016.
17. Gao YQ, Gao NY, Deng Y, Yang YQ, Ma Y. Ultraviolet (UV) light-activated persulfate oxidation of sulfamethazine in water. Chem Eng J 2012; 195:248-53.
18. Oppenländer T. Photochemical purification of water and air: advanced oxidation processes (AOPs)-principles, reaction mechanisms, reactor concepts. New Jersey: John Wiley & Sons; 2007.
19. Hashemi F, Godini H, Shams Khorramabadi G, Mansouri L. Assessing performance of walnut green hull adsorbent in removal of phenol from aqueous solutions. Iran J Health Environ 2014; 7(2):265-76.
20. Gaya UI, Abdullah AH, Zainal Z, Hussein MZ. Photocatalytic treatment of 4-chlorophenol in aqueous ZnO suspensions: intermediates, influence of dosage and inorganic anions. J Hazard Mater 2009; 168(1):57-63.
21. Malakootian M, Asadi M. Efficiency of fenton

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1397.4.2.1.8]

oxidation process in removal of phenol in aqueous solutions. J Water Wastewater 2011; 3:46-52 (Persian).
22. Federation WE, Association AP. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC, USA: American Public Health Association (APHA); 2005.
23. Krystynik P, Kluson P, Hejda S, Buzek D, Masin P, Tito DN. Semi-pilot scale environment friendly photocatalytic degradation of 4-chlorophenol with singlet oxygen species--direct comparison with H2O 2/UV C reaction system. Appl Cataly B Environ 2014; 160:506-13.
24. Liang HY, Zhang YQ, Huang Sb, Hussain I. Oxidative degradation of p-chloroaniline by copper oxidate activated persulfate. Chem Eng J 2013; 218:384-91.
25. Daneshvar N, Rabbani M, Modirshahla N, Behnajady MA. Critical effect of hydrogen peroxide concentration in photochemical oxidative degradation of CI Acid Red 27 (AR27). Chemosphere 2004; 56(10):895-900.
26. Daneshvar N, Khatayyi AR. Acid Blue 9 dye removal process modeling in the presence of hydrogen peroxide under UVC. Proceeding of 9th National Conference of Chemical Engineering; Tehran, Iran; 2004 (Persian).
27. Bali U, Catalkaya E, Sengul F. Photodegradation of reactive black 5, direct red 25 and direct yellow 12 using UV, UV/H2O2 and UV/H2O2/Fe2+: a comparative study. J Hazard Mater 2004; 114(1-3):159-66.
28. Behnajady MA, Modirshahla N, Fathi H. Kinetics of decolorization of an azo dye in UV alone and UV/H2O2 processes. J Hazard Mater 2006; 136(3):816-21.
29. Kritikos DE, Xekoukoulotakis NP, Psillakis E, Mantzavinos D. Photocatalytic degradation of reactive black 5 in aqueous solutions: Effect of operating conditions and coupling with ultrasound irradiation. Water Res 2007; 41(10):2236-46.
30. Mokhtari SA, Farzadkia M, Esrafili A, Kalantari RR, Jafari AJ, Kermani M, et al. Bisphenol A removal from aqueous solutions using novel UV/persulfate/H2O2/Cu system: optimization and modelling with central composite design and response surface methodology. J Environ Health Sci Eng 2016; 14(1):19.
31. Rahmani Z, Kermani M, Gholami M, Jafari AJ, Mahmoodi NM. Effectiveness of photochemical and sonochemical processes in degradation of Basic Violet 16 (BV16) dye from aqueous solutions. Iran J Environ Health Sci Eng 2012; 9(1):14.
32. Tehrani-Bagha AR, Amini FL. Decolorization of a reactive dye by UV-enhanced ozonation. Prog Color Colorants Coat 2010; 3:1-8.
33. Malakootian M, Golmirzaee K, Loloei M. Study of the efficiency of proxone method as advanced oxidation process to remove 4-chlorophenol from aqueous solution. J Ilam Univ Med Sci 2017; 25(2):133-43 (Persian).
34. Alnaizy R, Akgerman A. Advanced oxidation of phenolic compounds. Adv Environ Res 2000; 4(3):233-44.
35. Peternel I, Koprivanac N, Kusic H. UV-based processes for reactive azo dye mineralization. Water Res 2006; 40(3):525-32.
36. Kermani M, Farzadkia M, Esrafili A, Fallah Jokandan S, Yeganeh Badi M. Removal of catechol from aqueous solutions using catalytic ozonation by magnetic nanoparticles of iron oxide doped with silica and titanium dioxide: a kinetic study. J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 26(142):139-54 (Persian).
37. Tahergorabi M, Esrafili A, Kermani M, Shirzad-Siboni M. Application of thiol-functionalized mesoporous silica-coated magnetite nanoparticles for the adsorption of heavy metals. Desalinat Water Treat 2016; 57(42):19834-45.
38. Yousefi M, Ghanbari F, Zazouli MA, Ahmadi Moghaddam M, Akbari S. Investigation of the efficiency of electro-fenton and UV/TiO2 processes for para-chlorophenol removal from aqueous solutions. J Health 2017; 7(5):600-10.
39. Maleki A, Zandsalimi Y, Shahmoradi B, Rezaee R, Pordel M. Comparison of the efficiency of photochemical processes combined with UV/H2O2 and UV/TiO2 in removal of Acid Red 18 from aqueous solutions. Sci J Kurdistan Univ Med Sci 2012; 16(4):101-8 (Persian).
40. Salimi M, Esrafili A, Gholami M, Jonidi Jafari A, Kalantary RR, Farzadkia M, et al. Contaminants of emerging concern: a review of new approach in AOP technologies. Environ Monit Assess 2017; 189(8):414.
41. Bahrami Asl F, Kermani M, Farzadkia M, Esrafili A, Salahshour Arian S, Mokammel A, et al. Removal of metronidazole from aqueous solution using ozonation process. J Mazandaran Univ Med Sci 2015; 24(121):131-40. (Persian)

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1397.4.2.1.8]

42. Kermani M, Bahrami Asl F, Farzadkia M, Esrafili A, Salahshour Arian S, Khazaei M, et al. Heterogeneous catalytic ozonation by Nano-MgO is better than sole ozonation for metronidazole degradation, toxicity reduction, and biodegradability improvement. Desalinat Water Treat 2016; 57(35):16435-44.
43. Çatalkaya EC, Şengül F. Application of Box–Wilson experimental design method for the photodegradation of 36- bakery's yeast industry with UV/H2O2 and UV/ H2O2/Fe(II) process. J Hazard Mater 2006; 128(2-3):201-7.
44. Lin YT, Liang C, Chen JH. Feasibility study of ultraviolet activated persulfate oxidation of phenol. Chemosphere 2011; 82(8):1168-72.
45. Piri R, Kermani M, Esrafili A. Using persulfate-based photochemical oxidation (UV/Na2S2O8) in eliminating 4-chlorophenol from aqueous solutions. J Mazandaran Univ Med Sci 2017; 27(147):358-70 (Persian).
46. Kermani M, Mohammadi F, Kakavandi B, Esrafili A, Rostamifasih Z. Simultaneous catalytic degradation of 2,4-D and MCPA herbicides using sulfate radical-based heterogeneous oxidation over persulfate activated by natural hematite (α-Fe2O3/PS). J Phys Chem Solids 2018; 117:49-59.
47. Seid Mohammadi A, Asghari G, Almasi H. Removal of 2,4 Di-chlorophenol using persulfate activated with ultrasound from aqueous solutions. J Environ Health Eng 2014; 1(4):259-70 (Persian).
48. Manshuri M, Yazdanbakhsh AR, Sardar M, Mohamadi A. Factors affecting fenton process the removal of phenol from aqueous solution of parachloroethyl. Health Safety 2011; 3:381-8 (Persian).
49. Shokoohi R, Ebrahimzadeh L, Rahmani AR, Ebrahimi SJ, Samarghandi MR. Comparison of the advanced oxidation processes in phenol degradation in laboratory scale. J Water Wastewater 2009; 20(4):30-5 (Persian).
50. Sharma J, Mishra I, Kumar V. Degradation and mineralization of Bisphenol A (BPA) in aqueous solution using advanced oxidation processes: UV/H 2 O 2 and UV/S2O8(2-) oxidation systems. J Environ Manage 2015; 156:266-75.

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1397.4.2.1.8]