





## مقاله پژوهشی

## کارایی پریدات فعال شده با نانو ذرات اکسید منیزیم در حضور امواج فرابنفش برای حذف ۲-کلروفنل از محلول‌های آبی

عبدالمطلب صیدمحمدی<sup>۱</sup> , شعیب رحیمی<sup>۲</sup>، علیرضا رحمانی<sup>۱</sup>، قربان عسگری<sup>۱</sup>، سید اسماعیل حاتمی<sup>۳</sup>، سیده طیبه حاتمی<sup>۴</sup> 

<sup>۱</sup> دکتری مهندسی بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران  
<sup>۲</sup> مرکز تحقیقات عوامل محیطی مؤثر بر سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران  
<sup>۳</sup> مرکز تحقیقات اعتیاد و علوم رفتاری، دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، بجنورد، ایران  
<sup>۴</sup> کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز بهداشت شهرستان بجنورد، دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، بجنورد، ایران  
\* نویسنده مسئول: سیده طیبه حاتمی، کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز بهداشت شهرستان بجنورد، دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، بجنورد، ایران، ایمیل: [tayebeh.hatami@yahoo.com](mailto:tayebeh.hatami@yahoo.com)

DOI: 10.29252/nkjmd-010024

## چکیده

مقدمه: ۲-کلروفنل‌ها، به دلیل سمیت و تجزیه ناپذیری، به عنوان آلاینده‌های دارای اولویت زیست محیطی در پساب و فاضلاب‌های صنعتی می‌باشند. هدف از این مطالعه، تعیین کارایی پریدات ((IO4- فعال شده با نانوذرات اکسید منیزیم در حضور امواج فرابنفش برای حذف ۲-کلروفنل از محلول‌های آبی بود.

روش کار: در این مطالعه تجربی، تجزیه فتوشیمیایی ۲-کلروفنل در یک راکتور استوانه‌ای ناپیوسته با حجم ۲/۵ لیتر انجام شد. لامپ جیوه‌ای کم فشار ۵۵ واتنی به منظور تولید امواج فرابنفش با طول موج ۲۵۴ نانومتر استفاده شد. پارامترهای مؤثر بر فرآیند جذب شامل (pH 3 تا ۱۱)، دوز نانوذره (۰ تا ۱/۵ میلی مول بر لیتر)، غلظت ۲-کلروفنل (۰/۲۲ تا ۱/۷۶ میلی مول بر لیتر)، غلظت پریدات (۰ تا ۴ میلی مول بر لیتر)، زمان تماس (۰ تا ۶۰ دقیقه) مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: در فرآیند تلفیقی فعال سازی پریدات با نانوذرات اکسید منیزیم در حضور پرتو فرابنفش (UV/PI/MgO) بیشترین میزان حذف ۲-کلروفنل در pH برابر با ۷، غلظت پریدات ۴ میلی مول بر لیتر، غلظت نانو ذره اکسید منیزیم ۱ میلی مول بر لیتر و غلظت اولیه ۰/۴۴ میلی مول بر لیتر ۲-کلروفنل حاصل شد. در این شرایط، با گذشت زمان ۶۰ دقیقه حدود ۸۵ درصد از ۲-کلروفنل حذف شد. همچنین با افزایش غلظت اولیه جاذب و جذب شونده کارایی حذف ۲-کلروفنل کاهش یافت.

نتیجه گیری: پریدات فعال شده با نانوذرات اکسید منیزیم برای حذف ۲-کلروفنل کارایی مناسبی دارد. مقدار pH برابر ۷، غلظت پریدات ۴ میلی مول بر لیتر و غلظت نانوذرات اکسید منیزیم ۰/۴۴ میلی مول بر لیتر، زمان ۶۰ دقیقه بهترین ترین حالت حذف ۲-کلروفنل بود.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۸

## واژگان کلیدی:

۲-کلروفنل  
امواج فرابنفش  
نانوذره اکسید منیزیم  
پریدات

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی محفوظ است.

## مقدمه

نفت، صنایع پلاستیک سازی، چوب، کاغذسازی و ساخت انواع آفت کش ها و علف کش ها مشاهده شده است [۲]. حضور این ترکیبات آروماتیک کلرینه، به علت ساختار مولکولی خاص خود، از جمله حضور اتم های کلر، بر روی حلقه ی بنزنی و ناتوانی فعالیت آنزیمی ارگانوسیم-ها، در برابر تجزیه بیولوژیکی مقاوم بوده و در صورت تماس با انسان، مخاطرات جهش زائی و سرطان زائی از خود نشان می دهند [۳، ۴]. از دیگر عوارض عمومی این ترکیبات در محیط زیست سمیت برای موجودات آبی در غلظت های کم و تولید بوی مشمئزکننده در منابع آبی است [۲]. براساس نظر سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا تمامی

با افزایش آگاهی جوامع از خطرات جبران ناپذیر آلودگی محیط زیست ناشی از تخلیه پساب ها و مواد آلاینده به طبیعت، اجرای قوانین حفاظت محیط زیست در دو دهه ی اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. رعایت دقیق استانداردهای زیست محیطی منوط به کنترل آلاینده هایی است که به وسیله ی فرآیندهای معمول تصفیه به راحتی حذف نمی شوند [۱]. از جمله ی این آلاینده ها که در چند سال اخیر به شدت مورد توجه محققان و بهره برداران تصفیه خانه های آب و فاضلاب قرار گرفته است، ترکیبات کلروفنلی است. کلروفنل ها به مقدار وسیع در فاضلاب خروجی بسیاری از صنایع، نظیر پتروشیمی، پالایش

ماورابنفش می تواند واکنش پریدات را بطور گسترده ای افزایش داده و قابلیت انتخابی بودن آن را بدلیل ایجاد رادیکال هیدروکسیل ( $\text{OH}^\circ$ ) و دیگر رادیکال های غیرانتخابی کاهش دهد. در اثر اکتیو شدن پریدات توسط اشعه ماورابنفش، گونه های مختلف از رادیکال های بسیار قوی همچون  $\text{OH}^\circ$ ،  $\text{IO}_4^\circ$  (پریودیول)،  $\text{IO}_3^\circ$  (آیودیول) و  $\text{IO}_3^-$  (آیودات) و انواع واسطه های غیررادیکالی ( $\text{H}_2\text{O}_2$  و  $\text{O}_3$ )، تولید می شود. حضور چندین نوع رادیکال، نشان دهنده ی برتری آن بر سایر تکنیک های AOP است که تنها بر پایه رادیکال های خاص، نظیر رادیکال سولفات، رادیکال هیدروکسیل، اکسیژن نوزاد عمل می کنند. امروزه، محققین تحقیقات وسیعی را به منظور افزایش کارایی فرایندهای مذکور به جهت کاهش دادن غلظت مواد مورد استفاده و کاهش زمان تماس از طریق افزودن مواد نانوذره ای که خود منجر به کاهش حجم راکتورهای مورد استفاده خواهد شد، انجام داده اند که در این میان طیف وسیعی از مواد نانوذره می تواند مورد استفاده قرار گیرد [5]. نانوذرات به دلیل عملکرد متفاوت و توانایی بعنوان کاتالیست در فرایند اکسیداسیون و بهبود پایداری حرارتی در رزین های فنلی مورد استفاده قرار می گیرند. در سال های اخیر کاربرد نانوذرات به عنوان یک عامل احیاکننده در حذف ترکیباتی نظیر حلال های کلرینه، آلفاتیکی های هالوژنه ( $\text{VOCs}$ )، آروماتیک های پلی هالوژنه نظیر PCBs و سایر ترکیبات آلی مورد مطالعه زیادی قرار گرفته است [15]. نانوذرات اکسید منیزیم فلزی نیز به علت سطح بالا و هزینه تولید پایین پتانسیل بالایی در تصفیه ی فاضلاب های متعدد از جمله فاضلاب های صنعتی دارد. این ماده به طور کلی از طریق فرایند تجزیه گرمایی هیدروکسید منیزیم یا کربنات منیزیم بدست می آید [16]. به دلیل خصوصیات منحصر بفرد احیا کنندگی ذرات اکسید منیزیم احتمال فعال سازی پریدات توسط آن محتمل است. اما به دلیل فقدان وجود مستندات علمی و لزوم استفاده از آن انجام مطالعات پژوهشی در این زمینه امری ضروری به نظر می-رسد. از این رو در این مطالعه اثر بخشی اکسید منیزیم در فعال سازی پریدات در حضور اشعه فرابنفش و تاثیر عوامل تاثیرگذار از جمله pH محیط، غلظت اکسید کننده، غلظت فعال ساز، زمان تماس، غلظت اولیه ی ماده آلی در حذف ۲-کلروفنل مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

## روش کار

مواد شیمیایی ۲-کلروفنل ساخت شرکت Merck آلمانمورد استفاده قرار گرفت. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ۲-کلروفنل در جدول ۱ نشان داده شده است.

راکتور به صورت سیلندر استوانه ای با حجم مفید ۲/۵ لیتر از جنس استیل ضد زنگ بسیار صاف و صیقلی به منظور به حداکثر رساندن انعکاس پرتو درون راکتور مورد بهره برداری قرار گرفت. پرتو فرابنفش مورد استفاده در این مطالعه توسط لامپ بخار جیوه کم فشار ۵۵ وات تامین گردید. این لامپ ها حدود ۹۰ درصد پرتو خروجی شان در ناحیه ۲۵۲/۷ nm قرار دارد که توسط شرکت فیلیپس هلند ساخته شده است. لامپ درون پوشش کوارتزی بسیار شفاف به قطر ۲ سانتی متر در امتداد طول راکتور و به صورت مرکزی در داخل آن قرار داده شد. تصویر ۲ شمای کلی راکتور تابش پرتو فرابنفش و تجهیزات بکار رفته در آماده سازی آن نشان داده شده است. راکتور مجهز به شیر ورودی

ترکیبات کلروفنل در لیست آلاینده های دارای اولویت (Priority pollutants) قرار دارند که نشان دهنده ماهیت خطرناکی این ترکیبات برای محیط زیست و انسان است [5]. ۲-کلروفنل ها ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{ClO}$ ) از ترکیبات آلی هالوژنه می باشد (شکل ۱) [5]. غلظت آلاینده ی ۲-کلروفنل در محیط زیست در گستره ۲۰۰-۱۰۰ میکروگرم بر لیتر تشخیص داده شده است که فقط مقدار کمی در آب قابل تشخیص است [6]. این در حالی است که آژانس حفاظت محیط-زیست آمریکا با توجه به ماهیت سمی این ترکیبات، مقدار استاندارد آن را در آب تصفیه شده کمتر از ۱ میکروگرم بر لیتر اعلام کرده است، و بر کاهش مقدار این آلاینده ها در پساب خروجی از واحدهای تصفیه-خانه فاضلاب صنایع به مقدار ۱ میلی گرم بر لیتر قبل از تخلیه به محیط تأکید دارد [7]. این ماده، پس از ورود به محیط، از طریق تنفس و گوارش، وارد بدن شده و به عنوان یک ماده شیمیایی سمی و خورنده، سبب تحریک و سوزش چشم، پوست، گلو، بینی و افزایش سرفه می-شود. تماس طولانی مدت با این ماده، سبب سردرد، خستگی، بی قراری، اثر بر کبد و کلیه، ضعف عضلانی، تهوع و در نهایت اغما و مرگ می-شود [8]. روش های متعددی به منظور حذف این ترکیبات از محیط-زیست مورد توجه قرار گرفته است. روش هایی نظیر جذب سطحی، سوزاندن، اکسیداسیون شیمیایی و فرایندهای بیولوژیکی و ... می باشد که برای حذف ۲-کلروفنل استفاده شده است. هر کدام از این روش ها مزایا و معایبی دارند؛ از جمله اینکه در فرایند جذب انتقال آلاینده از یک فاز به فاز دیگر بدون حذف آلاینده است و اکسیداسیون شیمیایی همه مواد آلی را حذف نمی کند و روش تصفیه بیولوژیکی با سرعت کم انجام می شود [9]. روشهای مذکور تنها آلودگی را از فاز آبی به شبکه جامد منتقل می کنند و فرایندهای تخریبی نیستند، تکنیک های فراگیر به حساب نمی آیند [10]. یکی از موثرترین روشها فرایند اکسیداسیون پیشرفته (Advanced process (AOPS oxidation است [11]. اکسیداسیون پیشرفته عبارت است از اکسیداسیونی که برای تصفیه موثر فاضلاب به اندازه کافی رادیکال هیدروکسیل تولید کند [12]. AOPs یکی از فرایندهای موثر در حذف ترکیبات و مواد آلی سمی و غیر قابل تجزیه بیولوژیکی است که به دلیل سهولت کاربرد، اقتصادی بودن، کارایی بالا و عدم تولید مقادیر زیاد لجن به عنوان یک فناوری کارآمد در زمینه های مختلف علوم محیط-زیست مورد توجه قرار گرفته است [13]. استفاده از امواج فرابنفش، یکی از پرکاربردترین روش ها به منظور حذف آلاینده های متعدد طی فرایند اکسیداسیون پیشرفته به شمار می آید که عمدتاً بدلیل نیاز به راندمان حذف بالا و اهمیت معدنی شدن کامل ترکیبات با عوامل اکسیدکننده از جمله پراکسید هیدروژن، ازن و ... بصورت توأم مورد استفاده قرار می گیرد. افزایش کارایی فرایند با استفاده از کاربرد توأم عوامل اکسیدان و اشعه فرابنفش سبب افزایش استفاده از برخی ترکیبات جدید از جمله پرسولفات، پریدات می شود [14]. در این میان پریدات یکی از انواع اکسیدان های ید است که اخیراً در حذف ترکیبات آلی محلول در آب مورد استفاده قرار گرفته است. پتانسیل احیای آن ۱/۶V گزارش شده است [15] که در مقایسه با رادیکال هیدروکسیل ( $\text{OH}^\circ$ ) ضعیف تر است. این ماده ی اکسیدان به صورت انتخابی عمل می کند و استفاده از آن در اکسیداسیون ترکیباتی که دارای گروه کربونیل یا گروه هیدروکسیل هستند (مثل فنل) بسیار موثر است. اشعه

به منظور تعیین تاثیر شدت یونی بر سنتتیک حذف ۲-کلروفنل در شرایط بهینه بهره برداری در فرآیند فوق، مقادیر ۰/۱۵، ۰/۵ و ۱ گرم در لیتر کلرید کلسیم، به جریان ورودی اضافه شده و میزان حذف ۲-کلروفنل اندازه گیری شد [۲۲].

بعد از تعیین شرایط بهینه حذف ۲-کلروفنل، سینتیک تجزیه این ماده در فرآیندهای مختلف، مورد بررسی قرار گرفته و مقادیر سرعت واکنش تعیین شد. بدین منظور، در شرایط بهینه بهره برداری در هر دو فرآیند، تغییرات زمان را در برابر  $(C)$ ،  $1/C$  و  $-\ln(C/C_0)$  رسم نموده و مقدار  $R^2$  مبنای تعیین درجه واکنش قرار گرفت.

در هر مرحله از انجام آزمایشات و در فواصل زمانی مشخص، مقدار مشخصی از نمونه را برداشته و بلافاصله، به منظور به حداقل رساندن تغییر در نتایج عملیات آماده سازی نمونه، انجام و در نهایت با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV/Vis spectrometer-DR 5000 و رسم منحنی های استاندارد نسبت به قرائت مقادیر ماده آلی در زمان های مختلف اقدام شد. بدین منظور و با استفاده از رهنمود کتاب استاندارد متد (۶۵)، حجم مشخصی از نمونه را برداشته و با استفاده از هیدروکسید آمونیوم و بافرهای فسفات، تنظیم pH را به مقدار  $(7/9 \pm 0/1)$  انجام داده و در ادامه به محلول ۱ میلی لیتر ۴-آمینوآنتی پیرین و بعد ۱ میلی لیتر از محلول پتاسیم فری سیانید اضافه شد. بعد از گذشت ۱۵ دقیقه، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان جذب نور نمونه، در طول موج ۵۰۰ نانومتر قرائت گردید (۶۶) در تمام مراحل آزمایش، نمونه ی شاهد نیز که آب دو بار تقطیر بود، مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت و با استفاده از منحنی های استاندارد، مقادیر جذب به غلظت تبدیل گردید. منحنی های استاندارد ۲-کلروفنل در تصویر ۲ و ۳ نشان داده شده است. بدین منظور و با توجه به محدوده ی غلظت-های مورد مطالعه ماده آلی و انتظار حذف آن، منحنی استاندارد در محدوده ی غلظت ۰ تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر رسم گردید.

و خروجی و سیستم هشداردهنده سمعی و بصری عدم کارکرد لامپ بود. در تمامی مراحل کار از محلول استوک با غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر ۲-کلروفنل استفاده شد. در شروع کار غلظت ثابت ماده آلی، پریدات و نانوذره اکسید منیزیم در pH های ۳، ۷ و ۱۰ مورد استفاده قرار گرفت. در هر مرحله و در یک تانک ذخیره ۲/۵ لیتر، محلول حاوی ماده آلی، پریدات و نانوذره اکسید منیزیم آماده و با استفاده از هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار و اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال pH محلول تنظیم و به محفظه واکنش انتقال داده شد.

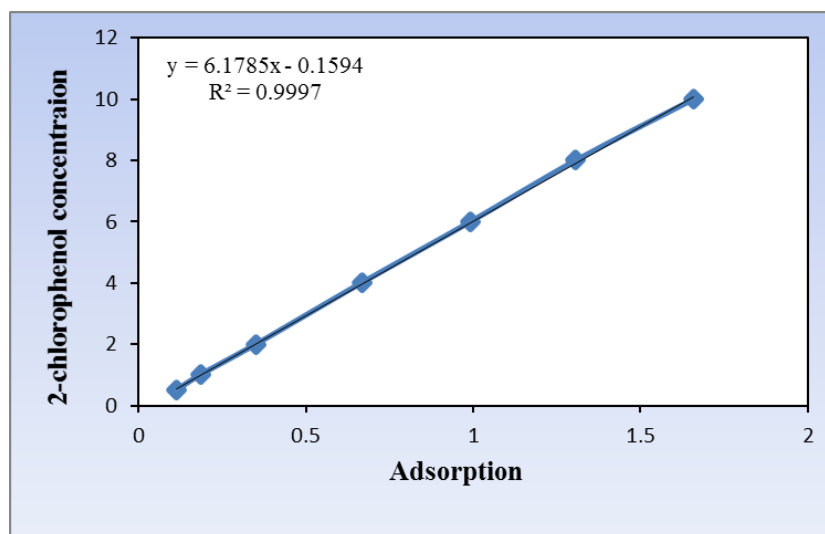
به منظور تعیین تاثیر pH در ناحیه اسیدی، خنثی و بازی به ترتیب محدوده های ۳، ۷ و ۱۰ انتخاب شد [۱۷]. جهت مقایسه تغییرات pH از غلظت ثابت ۰/۴۴ میلی مول بر لیتر ۲-کلروفنل، غلظت پریدات ۲ میلی مول بر لیتر (۳۶) و نانوذره اکسید منیزیم ۰/۵ میلی مول بر لیتر استفاده شد [۱۸]. در نهایت، pH بهینه بر اساس بیشترین مقدار حذف ۲-کلروفنل در زمان های مختلف تابش (۶۰-۰ دقیقه) انتخاب گردید.

به منظور تعیین غلظت بهینه نانواکسید منیزیم، از pH بهینه مرحله قبل، غلظت ثابت ۰/۴۴ میلی مول بر لیتر ۲-کلروفنل، غلظت پریدات ۲ میلی مول بر لیتر و غلظت های متفاوت نانوذره اکسید منیزیم ۰ تا ۱/۵ میلی مول بر لیتر (معادل ۶-۶۰ میلی گرم بر لیتر) استفاده شد [۱۹].

به منظور تعیین تاثیر غلظت های مختلف پریدات، مقادیر متفاوت پریدات در دامنه ۰ تا ۵ میلی مول بر لیتر و غلظت ماده آلی برابر با ۰/۴۴ میلی مول بر لیتر، در مقادیر بهینه نانوذره اکسید منیزیم و pH بهینه مرحله قبل استفاده شد [۲۰].

به منظور تعیین اثر غلظت اولیه ۲-کلروفنل از pH، پریدات و نانوذره اکسید منیزیم بهینه در مراحل قبل استفاده شده و کارایی حذف این ماده آلی در غلظت های متفاوت ۲-کلروفنل از ۰/۲۲ تا ۱/۷۶ (میلی مول بر لیتر) سنجیده شد [۲۱].

به منظور تعیین اثر نانوذره اکسید منیزیم، اشعه فرابنفش و پریدات، به تنهایی از مقادیر بهینه مرحله قبل استفاده شده و کارایی حذف هر یک در غلظت اولیه ۰/۴۴ (میلی مول بر لیتر) سنجیده شد.



تصویر ۱: منحنی استاندارد ۲-کلروفنل محدوده غلظتی ۰ تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر

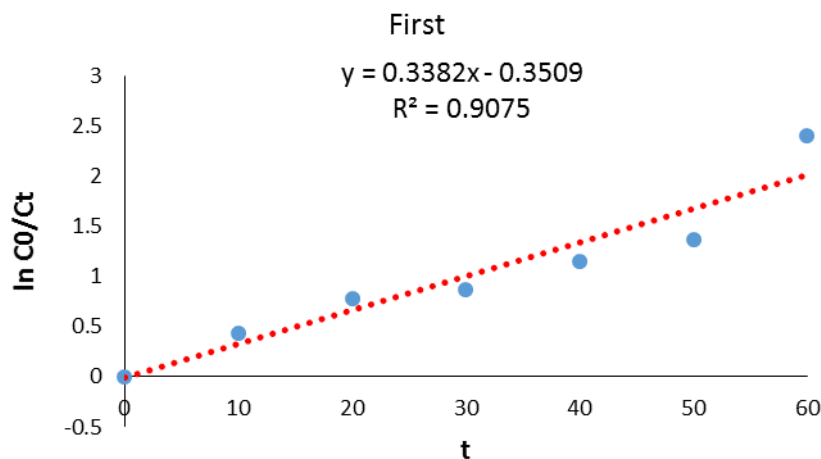


مقایسه مقدار تجزیه و معدنی شدن ۲-کلروفنل در فرایند UV/PI/MgO به منظور پی بردن به نقش موثر فرایند UV/PI/MgO در تجزیه و معدنی سازی ۲-کلروفنل، مقدار COD در شرایط بهینه بهره برداری، اندازه گیری و با مقدار تجزیه، در زمان های یکسان مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج در تصویر ۳، نشان داده شده است. نتایج این مرحله از انجام آزمایشات، بیانگر آن بود که ضمن تجزیه ۸۵ درصدی ماده آلی با گذشت زمان ۶۰ دقیقه از انجام آزمایشات، ۴۵/۲ درصد حذف COD، مشاهده شد.

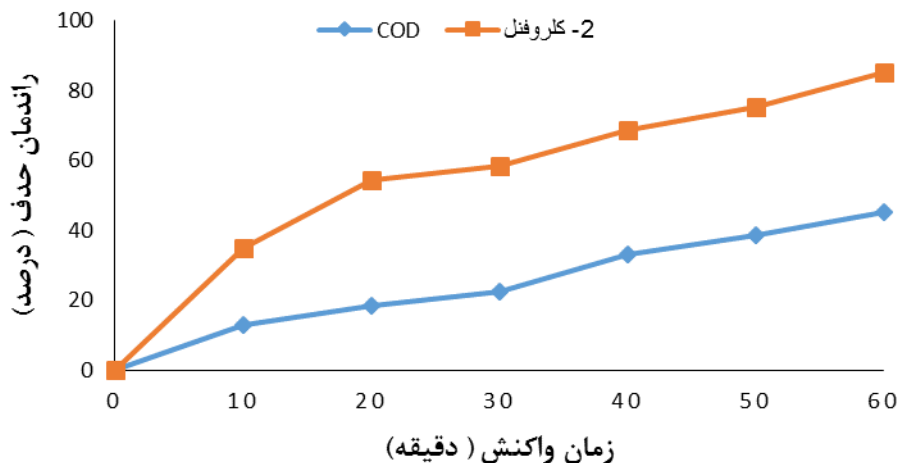
بر اساس نتایج حاصل از انجام مطالعات سنتتیکی که در جدول ۱ و شکل ۲، نشان داده شده است تجزیه ۲-کلروفنل در شرایط بهینه بهره برداری در فرایند UV/PI/MgO و با مقایسه میزان ضریب رگرسیون ( $R^2$ ) که برای معادلات درجه صفر، یک و دو به ترتیب ۰/۰۳۴، ۰/۹۸۹ و ۰/۹۶۱ حاصل شده است از معادلات درجه اول تبعیت می کند. همچنین مطابق رابطه  $\ln(C/C_0) = -kt$  که در آن  $C_0$  و  $C_t$  غلظت ۲-کلروفنل در زمان تابش  $t$  و غلظت اولیه و  $k$  ثابت سرعت واکنش درجه اول بر حسب ( $l/min$ ) و  $t$  زمان تابش بر حسب دقیقه است ثابت سرعت واکنش ( $k$ ) در فرایند مورد استفاده برابر با ۰/۰۲ بر دقیقه می باشد.

جدول ۱: ضرایب سینتیکی مربوط به فرایند UV/PI/MgO در شرایط بهینه بهره برداری، غلظت ۰/۴۴ میلی مول بر لیتر، غلظت منیزیم اکسید: ۱ میلی مول بر لیتر، غلظت پریدات: ۴ میلی مول بر لیتر، pH: ۷

Time (min)	%	Ct	C <sub>0</sub> /Ct	ln C <sub>0</sub> /Ct	1/ct
۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰	۳۵	۳۲/۵	۱/۵۳۸۴۶۲	۰/۴۳۰۷۸۳	۰/۰۳۰۷۶۹
۲۰	۵۴/۲	۲۲/۹	۲/۱۸۳۴۰۶	۰/۷۸۰۸۸۶	۰/۰۴۳۶۶۸
۳۰	۵۸/۵	۲۰/۹	۲/۳۹۲۳۴۴	۰/۸۷۲۲۷۴	۰/۰۴۷۸۴۶
۴۰	۶۸/۵	۱۵/۷۵	۳/۱۷۴۶۰۳	۱/۱۵۵۱۸۳	۰/۰۶۳۴۹۲
۵۰	۷۵/۴	۱۲/۷۵	۳/۹۲۱۵۶۹	۱/۳۶۶۴۹۲	۰/۰۷۸۴۳۱
۶۰	۸۵	۴/۵	۱۱/۱۱۱۱۱	۲/۴۰۷۹۴۶	۰/۲۲۲۲۲۲



تصویر ۳: سینتیک اکسیداسیون درجه یک فرایند مربوط به فرایند UV/PI/MgO در شرایط بهینه بهره برداری غلظت ۰/۴۴ میلی مول بر لیتر، غلظت منیزیم اکسید: ۱ میلی مول بر لیتر، غلظت پریدات: ۴ میلی مول بر لیتر، pH: ۷



تصویر ۴: مقایسه کارایی حذف COD و ۲-کلروفنل، در شرایط بهینه بهره برداری در فرایند UV/PI/MgO

تماس به ۹۰ دقیقه کارایی حذف ۲-کلروفنل بسیار افزایش یافته است. راندمان حذف ۲-کلروفنل با غلظت اولیه ۰/۴۴ میلی مول برلیتر، ۱ میلی مول برلیتر نانوذره MgO و pH=۷ و گذشت ۶۰ دقیقه میزان حذف ۲-کلروفنل روند افزایشی داشته است. نتایج بیانگر آن بود که در شرایط بهره برداری ضمن تجزیه ۸۵ درصدی ماده آلی با گذشت زمان ۶۰ دقیقه، ۴۵/۲ درصد COD نیز حذف شده است.

در فرایندهای اکسیداسیون فتوکاتالیستی یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار pH محیط واکنش در طی فرایند اکسیداسیون است. برخی مطالعات گزارش داده اند که pH ارتباط معنی داری با اکسیداسیون مواد آلی ندارد [۲۴]. اما اکثر مطالعات گزارش داده اند که بین pH و میزان حذف مواد آلی در فرایند اکسیداسیون ارتباط معنی داری وجود دارد و بیان کرده اند که اثر pH تا حدود بسیار زیادی به ماهیت آلاینده موجود و محیط واکنش بستگی دارد. این اثر می تواند از طریق تاثیر بر رادیکال های هیدروکسیل در تجزیه فتوکالیستی اتفاق بیفتد [۲۵، ۲۶]. در مطالعه حاضر pH های ۳، ۷ و ۱۰ برای حذف ۲-کلروفنل در سیستم UV/PI/MgO مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که pH بهینه برابر با ۷ می باشد. مهم ترین علت تأثیر تغییرات pH محیط بر تجزیه ترکیبات آلی را در فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته نوع و میزان رادیکال های تولیدی در این فرآیند دانسته اند. پریدات، از دو مسیر جهت تولید رادیکال های پریدیل (IO4) و آیدیل (IO3) استفاده می کند. لازم به ذکر است که در این بین رادیکال هیدروکسیل و واسطه های غیر رادیکالی نظیر ازن نیز حاصل می شود (روابط ۳ و ۴). در pH ۱ تا ۸ عامل اصلی اکسیداسیون پریدات است. تجزیه کندتر پریدات در pH:۷ نسبت به pH:۳ منجر به تولید مجدد پریدات می-شود. پریدیلو آیدیل نیز می توانند مجدداً به پریدات احیا شوند [۲۷].

کاهش قابل توجه راندمان تجزیه فنل در pH:۱۰ را می توان به حضور ترکیبات غالب  $H_3IO_6^{-2}$  و  $H_4I_2O_{10}^{-4}$  در شرایط قلیایی نسبت داد

توصیف سنتتیک تجزیه مواد آلی در محلولهای آبی معمولاً از مدل لانگمیر Hinshelwood استفاده می شود [۲۳]. این مدل در اصل مربوط به نرخ تخریب (r)، و غلظت واکنش دهنده (c) در محلول آبی در زمان t است که توسط معادله زیر بیان می شود:

$$r = dc/dt = (k_p k_{ad} c) / (1 + k_{ad} c)$$

که در آن  $k_p$  ثابت سرعت و  $k_{ad}$  ثابت تعادل جذب است. در فوتوکاتالیست هایی که در آن ها، جذب ضعیف است و یا غلظت واکنش دهنده کم است، معادله بالا می تواند به معادله سینتیک شبه درجه یک یا ظاهر معادله درجه یک با ضریب ثابت  $k_{app}$  ساده نمود.

$$\ln(c_0/c) = k_r k_{ad} t = k_{app} t$$

همچنین مطابق رابطه  $\ln(C/C_0) = -kt$  که در آن  $C_t$  و  $C_0$  غلظت ۲-کلروفنل در زمان تابش t و غلظت اولیه و k ثابت سرعت واکنش درجه اول بر حسب (l/min) و t زمان تابش بر حسب دقیقه است، ثابت سرعت واکنش (k) در فرایند UV/PI/MgO برابر با ۰/۰۴ بر دقیقه می باشد.

## بحث

بر اساس نتایج ارایه شده در تصویر ۳ راندمان حذف ۲-کلروفنل در زمان ۶۰ دقیقه از انجام واکنش در pH ۳، ۷ و ۱۰ به ترتیب ۶۵/۲، ۶۷/۵ و ۵۴/۱ درصد بوده است و بیشترین حذف در pH برابر ۷ اتفاق افتاده است. بنابراین به عنوان pH بهینه برای سایر آزمایشات در نظر گرفته شد. با افزودن مقادیر نانوذره اکسید منیزیم به غلظت ۰، ۰/۱۵، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱/۵ میلی مول بر لیتر طی گذشت زمان ۶۰ دقیقه از انجام آزمایشات، به ترتیب ۶۵/۴، ۵۹/۸، ۶۳، ۶۵/۳، ۶۷/۱ و ۶۶/۲ درصد ۲-کلروفنل حذف شده است. بیشترین مقدار حذف ۲-کلروفنل در غلظت ۴ میلی مول برلیتر پریدات و در زمان ۶۰ دقیقه انجام شد. است. با افزایش غلظت پریدات به ۵ میلی مول برلیتر در زمان ۶۰ دقیقه بیانگر کاهش راندمان حذف بوده است. با افزایش غلظت ۲-کلروفنل، کارایی حذف کاهش یافته است. این در حالیست که با افزایش زمان



در مطالعه حاضر به منظور تعیین اثر غلظت اولیه ۲-کلروفنل در کارایی سیستم UV/PI/MgO، از غلظت اولیه ۰/۲ تا ۱/۷۶ میلی‌مول بر لیتر ۲-کلروفنل استفاده گردید. مطابق با نتایج ارائه شده کارایی فرایند اکسیداسیون پیشرفته در سیستم UV/PI/MgO، با افزایش غلظت ۲-کلروفنل کارایی فرایند کاهش یافته است. مطالعات متعددی غلظت اولیه آلاینده را یکی از مهم ترین پارامترهای تاثیرگذار در فرایند اکسیداسیون گزارش کرده اند. در این فرایند تنها مقادیر معینی رادیکال فعال تولید می گردد. لذا فرایند قادر به اکسیداسیون و حذف مقادیر مشخصی از ترکیبات آلی است. از طرفی دیگر تولید محصولات جانبی دارای واکنش پذیری بیشتر از ۲-کلروفنل با رادیکال های موجود در واکنش و کاهش احتمال برخورد مولکول های فنلی با عوامل اکسیدکننده در اثر افزایش غلظت این ماده می تواند دو دلیل اصلی کاهش سرعت واکنش در غلظت های بالای آلاینده باشد [۳۱، ۳۲]. مطالعات انجام شده توسط Tang و همکاران (۲۰۰۸) نیز نتایج مشابه را گزارش کرده اند [۲۸].

برای غلبه بر این افزایش غلظت راه های متعددی وجود دارد از جمله افزایش زمان تماس است. کما اینکه در مطالعه حاضر با افزایش زمان از ۶۰ به ۹۰ دقیقه، راندمان حذف افزایش یافته است. البته از این نکته نباید غافل شد که افزایش زمان تماس تا زمانی موثر است که رادیکال-های فعال اکسید کننده در محیط وجود داشته باشد و همچنین باند های فعال جاذب، بطور کامل اشباع نشده باشد. بنابراین راه حل دیگر برای افزایش راندمان هم زمان با افزایش غلظت اولیه افزودن میزان اکسیدان است. هر چند این تاثیر احتمالاً تا غلظت معینی از ماده اکسید کننده اتفاق خواهد افتاد [۳۳].

سرعت واکنش های شیمیایی و ثابت سرعت این واکنش ها را می توان از طریق سینتیک واکنش تعیین کرد. سرعت واکنش در واقع تغییر غلظت واکنش دهنده ها و مصرف آن ها و یا تولید فراورده با گذشت زمان را نشان می دهد. سینتیک واکنش شامل درجه صفر، یک و دو است که سینتیک درجه صفر نشان دهنده مستقل بودن واکنش، نسبت غلظت واکنش دهنده ها است. در سینتیک نوع یک بین غلظت آلاینده و زمان، رابطه خطی وجود دارد و سرعت واکنش همان شیب خط است. عوامل مؤثری همچون طبیعت واکنش دهنده ها، حالت فیزیکی، غلظت، دما و کاتالیزور در سرعت واکنش دخالت دارند. برای واکنش های مرتبه اول نیمه عمر، مستقل از غلظت های اولیه واکنش دهنده هاست [۳۱]. بر طبق مدل لانگمیر سرعت واکنش از نوع درجه اول بوده و ثابت سرعت واکنش (k) در فرایند UV/PI/MgO برابر با ۰/۰۴ بر دقیقه بود. در مطالعه جرفی و همکاران نیز گزارش گردید که در فرایند تجزیه فاضلاب توسط UVA/MgO واکنش از درجه اول تبعیت نموده است [۲۱]. همچنین Wei و همکاران گزارش کردند که در فرایند پرسولفات/نانوذره آهن در حذف بنتازون واکنش از معادلات درجه اول تبعیت کرده است [۳۴]. مطالعات سلطانی و همکاران نیز بیانگر آن بود که فرایندهای مورد استفاده جهت حذف رنگ و فاضلاب صنایع نساجی با استفاده از نانو اکسید منیزیم از واکنش درجه اول تبعیت می کند [۳۵]. مطالعات ذکر شده در بالا همگی با مطالعه حاضر هم راستا بوده و همخوانی دارند.

که در مقایسه با pH های ۳ و ۷ دارای مکانیسم فتولیز و جذب پرتو متفاوت می باشند [۲۸].

اثر تغییرات دوز نانوذره اکسید منیزیم در فرایند های مذکور از دوز ۰ میلی مول تا ۱/۵ میلی مول مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج با دوز بهینه ۱ میلی مول بر لیتر نانوذره اکسید منیزیم، میزان حذف ۲-کلروفنل بعد از گذشت زمان ۶۰ دقیقه به ۶۷/۱ درصد بود. افزایش راندمان حذف با افزایش دوز نانوذره اکسید منیزیم می تواند به علت فعال سازی بیشتر پریدات توسط این نانوذرات و ایجاد رادیکال های هیدروکسیل جهت حذف هر چه بیشتر آلاینده آلی از محیط واکنش باشد. کاهش راندمان بعد از افزایش غلظت نانوذرات به بیش از ۱ میلی-مول نیز می تواند به دلیل یونیزه شدن پریدات و کاهش رادیکال های آزاد در محیط واکنش باشد. در مطالعه ی انجام شده توسط جرفی و همکاران در سال ۲۰۱۶ نیز با افزایش دوز نانوذره MgO از ۰/۲ تا ۰/۸ گرم در لیتر راندمان حذف آلاینده افزایش پیدا کرده است، اما پس از آن روند کاهشی پیدا کرد. افزایش سطح جاذب به واسطه افزایش غلظت نانوذره محیط واکنش، منجر به افزایش سایت های فعال برای واکنش-های فتوکاتالیستی و افزایش جذب اشعه UV توسط کاتالیست مس گردیده است. که این امر نهایتاً منجر به ایجاد رادیکال های آزاد بیشتر برای تخریب آلاینده و افزایش راندمان گردیده است [۲۱]. افزایش میزان کاتالیست به بیش از میزان بهینه باعث انباشته شدن آن ها در محیط واکنش شده که این امر باعث کاهش سطح موثر ایجاد کننده رادیکال-های هیدروکسیل شده است [۲۹].

به منظور بررسی تغییرات غلظت پریدات به عنوان اکسیدکننده غلظت-های مختلفی از پریدات در فرایندهای UV/PI/MgO مورد آزمایش قرار گرفت. همانگونه که نتایج نشان داد در سیستم UV/PI/MgO ابتدا با افزایش غلظت پریدات از صفر تا ۴ میلی مول کارایی فرایند در حذف ۲-کلروفنل افزایش یافته، اما در ادامه با افزایش مقدار پریدات به ۵ میلی مول روند حذف آلاینده کاهشی است. این موضوع می تواند با واکنش های خودرقابتی پریدات در غلظت های بالا مرتبط باشد. زیرا در غلظت های کم پریدات فتولیز پریدات افزایش می یابد که خود منجر به تولید رادیکال هیدروکسیل بیشتر می شود که در نهایت با آلاینده ی آلی واکنش داده و سبب افزایش راندمان حذف آن می شود. با افزایش غلظت پریدات در محیط راندمان حذف به دلیل درگیر شدن پریدات در واکنش های رقابتی با خود کاهش می یابد. لذا پریدات می تواند به عنوان یک واکنش مختل کننده در تولید رادیکال هیدروکسیل عمل کند [۳۰]. در همین رابطه در مطالعه ای که Lee و همکاران در حذف رنگ با استفاده از فرایند فعال سازی نوری پریدات انجام دادند مشخص گردید که حذف رنگ با افزایش غلظت پریدات به طور خطی افزایش می یابد، اما تا زمانی که پریدات خود به عنوان مختل کننده رادیکال هیدروکسیل نباشد [۱۴].

در مطالعه انجام شده توسط صید محمدی و همکاران، غلظتهای مختلف پریدات برای حذف اسید هیومیک مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان داده است، با افزایش غلظت پریدات از ۶۲/۵ تا ۱۲۵ میلی گرم بر لیتر کارایی فرایند در حذف اسید هیومیک افزایش یافته است، اما در ادامه با افزایش مقدار پریدات به ۲۵۳ و ۵۳۳ میلی گرم بر لیتر میزان حذف اسید کاهش پیدا کرده است که نتایج حاصل مطالعه حاضر همخوانی دارد [۲۰].

### نتیجه گیری

نتایج نشان داد در سیستم UV/PI/MgO، بیشترین حذف آلاینده در pH خنثی اتفاق می افتد و بعد از گذشت زمان ۶۰ دقیقه، میزان به ۶۷/۵ درصد حذف شده است. با افزایش دوز نانوذره اکسید منیزیم تا ۱ میلی مول، راندمان حذف افزایش یافته و پس از آن روند کاهش داشته است. هر چند میزان افزایش ناچیز بوده و می توان گفت تغییر غلظت نانوذره اکسید منیزیم، تاثیری در راندمان حذف نداشته است. افزایش غلظت پریدات در سیستم، باعث افزایش حذف آلاینده ۲-کلروفنل گردید و این افزایش تا غلظت ۴ میلی مول پریدات ادامه داشت و سپس روند کاهش به خود گرفت. با افزایش غلظت آلاینده ۲-کلروفنل، راندمان حذف کاهش پیدا کرد که نشان دهنده این موضوع بود که راندمان حذف آلاینده به غلظت اولیه آن وابسته است. نتایج کاربرد UV و نانوذره MgO و پریدات به تنهایی، نشان داد که هر کدام از موارد ذکر شده به تنهایی، کارایی کمی در حذف آلاینده ۲-کلروفنل دارند. همچنین اثر شدت یونی ناشی از کربنات کلسیم در کارایی سیستم UV/PI/MgO بی تاثیر است. سیتیک واکنش حذف آلاینده ۲-کلروفنل در سیستم مذکور از معادله درجه اول پیروی می کند و راندمان حذف COD کمتر از حذف آلاینده مورد بررسی بود.

### سپاسگزاری

این مقاله حاصل از پایان دانشجویی مقطع کارشناسی ارشد دانشگاه علوم زشکی همدان با شماره ۹۴۱۲۱۸۷۳۴۴ می باشد. بدینوسیله از کلیه عزیزانی که ما را در انجام این پژوهش یاری کردند، کمال تقدیر و تشکر را داریم.

### تضاد منافع

تضاد منافی برای این مقاله وجود ندارد.

در فرایند تجزیه مواد آلی توسط اکسیداسیون پیشرفته، از جمله مواردی که به طور معمول مورد بررسی قرار می گیرد معدنی شدن<sup>۱</sup> است. در این رابطه بررسی می گردد که چه مقدار از ماده آلی اولیه به دی اکسید کربن و آب و یا هر گونه ماده معدنی دیگر تبدیل شده است. در مطالعه حاضر، تاثیر فرایند UV/PI/MgO در معدنی شدن آلاینده ۲-کلروفنل، مقدار COD در شرایط بهینه بهره برداری اندازه گیری و با مقدار تجزیه در زمان های یکسان مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج ارایه شده، میزان معدنی شدن، بسیار کمتر از حذف آلاینده بود و مقدار حذف COD، در زمان ۶۰ دقیقه ۴۵/۲ درصد بود.

بطور کلی سرعت معدنی شدن مواد آلی در واکنش های شیمیایی کمتر از حذف آلاینده است. بنابراین برای رسیدن به حد مطلوب از معدنی سازی بایستی زمان تماس را افزایش داد [۲۱]. در مطالعه سلطانی و همکاران که حذف رنگ آزو با استفاده فرایند UVA/MgO مورد بررسی قرار گرفت، در شرایط بهینه بهره برداری، سرعت حذف ماده آلی و حذف TOC به ترتیب ۰/۰۱۴ و ۰/۰۰۷ بر دقیقه در زمان واکنش ۱۲۰ دقیقه بوده است و مشخص گردید که در این زمان COD و TOC به ترتیب ۸۴/۹ و ۶۳/۳ درصد حذف داشته اند [۲۵]. مطالعات مشابه دیگر نیز بیان کرده است که میزان حذف آلاینده بیش از COD در شرایط مشابه بوده است و نتایج مطالعه حاضر را تایید می کنند [۳۶].

در مطالعه انجام شده توسط الماسی و همکاران نتایج نشان داده است که افزایش غلظت اکسیدکننده پریدات تا حد قابل توجهی راندمان حذف را افزایش می دهد و سپس روندی نزولی در حذف فنل مشاهده شده است، که با نتایج مطالعه حاضر هم راستا بوده است، اما در این مطالعه pH بهینه ۳ تعیین شده است، که با مطالعه حاضر همخوانی ندارد [۳۸]. این اختلاف می تواند به علت تفاوت در فعال ساز مورد استفاده باشد، در مطالعه فوق الذکر از امواج فراصوت برای فعال سازی پریدات استفاده شده است.

### References

- Liu Z, Yang H, Huang Z, Zhou P, Liu SJ. Degradation of aniline by newly isolated, extremely aniline-tolerant *Delftia* sp. AN3. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2002;58(5):679-82.
- Wang S-G, Liu X-W, Zhang H-Y, Gong W-X, Sun X-F, Gao B-Y. Aerobic granulation for 2,4-dichlorophenol biodegradation in a sequencing batch reactor. *Chemosphere*. 2007;69(5):769-75. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2007.05.026
- Li Y, Li X, Qi J, Bian J, Yuan Y. Selective removal of 2,4-dichlorophenol from contaminated water using non-covalent imprinted microspheres. *Environ Pollut*. 2009;157(6):1879-85.
- Wang CC, Lee CM, Kuan CH. Removal of 2,4-dichlorophenol by suspended and immobilized *Bacillus insolitus*. *Chemosphere*. 2000;41(3):447-52.
- Daraei H, Kamali H. Response surface modelling for optimization of 2-chlorophenol removal from water by nanoscale iron and iron powder. *Am J Environ Prot*. 2014;3:144-51.
- Movahedyan H, Seid Mohammadi A, Assadi A. Comparison of different advanced oxidation processes degrading p-chlorophenol in aqueous solution. 2009.
- Gholizadeh A, Kermani M, Gholami M, Farzadkia M. Comparative Investigation of 2-Chlorophenol and 4-Chlorophenol Removal using granulated activated carbon and rice husk ash. 2012.
- Martínez-Gutiérrez E, Texier A-C, de María Cuervo-López F, Gómez J. Consumption of 2-Chlorophenol Using Anaerobic Sludge: Physiological and Kinetic Analysis. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2014;174(6):2171-80. DOI: 10.1007/s12010-014-1166-x
- Abo-Farha S. Comparative study of oxidation of some azo dyes by different advanced oxidation processes: Fenton, Fenton-like, photo-Fenton and photo-Fenton-like. *J Am Sci*. 2010;6(10):128-42.
- Özdemir C, Öden MK, Şahinkaya S, Kalıpcı E. Color Removal from Synthetic Textile Wastewater by Sono-Fenton Process. *CLEAN – Soil, Air, Water*. 2011;39(1):60-7. DOI: 10.1002/clean.201000263
- Mostafaii GR, Dehghani R, Hasanazadeh M, Mousavi SGA. A comparison between advanced O3/UV and H2O2/UV oxidation processes for the treatment of municipal solid waste leachate. *Fez Journal of Kashan University of Medical Sciences*. 2012;16(1):71-8.



12. Adewuyi A, Göpfert A, Adewuyi OA, Wolff T. Adsorption of 2-chlorophenol onto the surface of underutilized seed of *Adenopus breviflorus*: A potential means of treating waste water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2016;4(1):664-72. DOI: [10.1016/j.jece.2015.12.012](https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.12.012)
13. Naddeo V, Belgiorno V, Napoli RMA. Behaviour of natural organic mater during ultrasonic irradiation. *Desalination*. 2007;210(1):175-82. DOI: [10.1016/j.desal.2006.05.042](https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.05.042)
14. Lee C, Yoon J. Application of photoactivated periodate to the decolorization of reactive dye: reaction parameters and mechanism. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 2004;165(1-3):35-41.
15. Bikshapathi M, Singh S, Bhaduri B, Mathur GN, Sharma A, Verma N. Fe-nanoparticles dispersed carbon micro and nanofibers: Surfactant-mediated preparation and application to the removal of gaseous VOCs. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2012;399:46-55. DOI: [10.1016/j.colsurfa.2012.02.023](https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2012.02.023)
16. Moussavi G, Yazdanbakhsh A, Heidarizad M. The removal of formaldehyde from concentrated synthetic wastewater using O<sub>3</sub>/MgO/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process integrated with the biological treatment. *J Hazard Mater*. 2009;171(1-3):907-13.
17. Shabanloo A. Performance Evaluation of Advanced Electrochemical Oxidation Process with the Using Persulfate in Degradation of Acid Blue 113 from Aqueous Solutions. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*. 2014;21(5):797-80.
18. Zhao J, Zhang Y, Quan X, Chen S. Enhanced oxidation of 4-chlorophenol using sulfate radicals generated from zero-valent iron and peroxydisulfate at ambient temperature. *Separation and Purification Technology*. 2010;71(3):302-7. DOI: [10.1016/j.seppur.2009.12.010](https://doi.org/10.1016/j.seppur.2009.12.010)
19. Navarro AE, Portales RF, Sun-Kou MR, Llanos BP. Effect of pH on phenol biosorption by marine seaweeds. *J Hazard Mater*. 2008;156(1-3):405-11.
20. Seid Mohammadi A, Asgari G, Thaghi SM, Poormohammadi A, Faramarzi GA. The Effect Of Uv And Coupled With Fe (0) Nanoparticles In Activation Of Iodine Removal Of Humic Acid From The Water Resources. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*. 2015;22(4):574-80.
21. Jorfi S, Barzegar G, Ahmadi M, Darvishi Cheshmeh Soltani R, alah Jafarzadeh Haghighifard N, Takdastan A, et al. Enhanced coagulation-photocatalytic treatment of Acid red 73 dye and real textile wastewater using UVA/synthesized MgO nanoparticles. *Journal of Environmental Management*. 2016;177:111-8. DOI: [10.1016/j.jenvman.2016.04.005](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.04.005)
22. Proudfoot AT. Pentachlorophenol poisoning. *Toxicol Rev*. 2003;22(1):3-11.
23. Nguyen AT, Juang RS. Effect of Operating Parameters and Kinetic Study on Photocatalytic Degradation of o-Cresol in Synthetic Wastewater with Irradiated Titanium Dioxide. *International Conference on Advances in Engineering and Technology* 2014. p. 602-6.
24. Ajeel MA, Aroua MK, Daud WMAW. Anodic Degradation of 2-Chlorophenol by Carbon Black Diamond and Activated Carbon Composite Electrodes. *Electrochimica Acta*. 2015;180:22-8. DOI: [10.1016/j.electacta.2015.08.062](https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.08.062)
25. El-Ghenymy A, Garrido JA, Rodríguez RM, Cabot PL, Centellas F, Arias C, et al. Degradation of sulfanilamide in acidic medium by anodic oxidation with a boron-doped diamond anode. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2013;689:149-57.
26. Rabaoui N, Moussaoui Y, Allagui MS, Ahmed B, Elaloui E. Anodic oxidation of nitrobenzene on BDD electrode: variable effects and mechanisms of degradation. *Separation and Purification Technology*. 2013;107:318-23.
27. Chia L-H, Tang X, Weavers LK. Kinetics and mechanism of photoactivated periodate reaction with 4-chlorophenol in acidic solution. *Environmental science & technology*. 2004;38(24):6875-80.
28. Tang X, Weavers LK. Using photoactivated periodate to decompose TOC from hydrolysates of chemical warfare agents. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 2008;194(2):212-9. DOI: [10.1016/j.jphotochem.2007.08.014](https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2007.08.014)
29. Paraskeva P, Diamadopoulos E. Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment: a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2006;81(9):1475-85. DOI: [10.1002/jctb.1553](https://doi.org/10.1002/jctb.1553)
30. Wang Y, Hong C-s. Effect of hydrogen peroxide, periodate and persulfate on photocatalysis of 2-chlorobiphenyl in aqueous TiO<sub>2</sub> suspensions. *Water Research*. 1999;33(9):2031-6. DOI: [10.1016/S0043-1354\(98\)00436-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00436-9)
31. Rao YF, Qu L, Yang H, Chu W. Degradation of carbamazepine by Fe(II)-activated persulfate process. *Journal of hazardous materials*. 2014;268:23-32. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2014.01.010](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.01.010) PMID: 24462988
32. Rodriguez S, Vasquez L, Costa D, Romero A, Santos A. Oxidation of Orange G by persulfate activated by Fe(II), Fe(III) and zero valent iron (ZVI). *Chemosphere*. 2014;101:86-92.
33. Darvishi Cheshmeh Soltani R, Safari M. Periodate-assisted pulsed sonocatalysis of real textile wastewater in the presence of MgO nanoparticles: Response surface methodological optimization. *Ultrason Sonochem*. 2016;32:181-90.
34. Wei X, Gao N, Li C, Deng Y, Zhou S, Li L. Zero-valent iron (ZVI) activation of persulfate (PS) for oxidation of bentazon in water. *Chemical Engineering Journal*. 2016;285:660-70. DOI: [10.1016/j.cej.2015.08.120](https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.08.120)
35. Darvishi Cheshmeh Soltani R, Safari M, Mashayekhi M. Sonocatalyzed decolorization of synthetic textile wastewater using sonochemically synthesized MgO nanostructures. *Ultrason Sonochem*. 2016;30:123-31.
36. Luo C, Jiang J, Ma J, Pang S, Liu Y, Song Y, et al. Oxidation of the odorous compound 2,4,6-trichloroanisole by UV activated persulfate: Kinetics, products, and pathways. *Water Research*. 2016;96:12-21. DOI: [10.1016/j.watres.2016.03.039](https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.039)
37. Salari D, Niaei A, Aber S, Rasoulifard MH. The photooxidative destruction of C.I. Basic Yellow 2 using UV/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> process in a rectangular continuous photoreactor. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;166(1):61-6. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2008.11.039](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.039)
38. Almasi H, Asgari G, Leili M, Sharifi Z, Seid-Mohammadi A. The Study of Phenol Removal from Aqueous Solutions Using Oxidizing Agents of Peroxide Hydrogen, Persulfate and Periodate Activated by Ultrasound. *Journal of rafsanzan university of medical science*. 2016;15(9):835-48.



Research Article

## The Effect of Peridates Activated with Nano Particles of Magnesium Oxide in The Presence of Ultraviolet Waves for the Removal of 2-Chlorophenol from Aqueous Solutions

Abdolmotaleb Seid-mohammadi <sup>1</sup> , Shoeib Rahimi <sup>2</sup>, Alireza Rahmani <sup>1</sup>, Ghorban Asgari <sup>1</sup>, Seyed Esmaeil Hatami <sup>3</sup>, Seyedeh Tayebbeh Hatami <sup>4,\*</sup> 

<sup>1</sup> Environmental Health Engineering Department, Hamadan University of medical science, Hamadan, Iran

<sup>2</sup> Research Center for Environmental Determinants of Health (RCEDH), Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran

<sup>3</sup> Addiction and Behavioral Sciences Research Center, North khorasan University of Medical Sciences, Bojnurd, Iran

<sup>4</sup> MSc in Environmental Health Engineering, Bojnurd Health Center, North Khorasan University of Medical Sciences, Bojnurd, Iran

\* **Corresponding author:** Seyedeh Tayebbeh Hatami, MSc in Environmental Health Engineering, Bojnurd Health Center, North Khorasan University of Medical Sciences, Bojnurd, Iran. E-mail: [tayebbeh.hatami@yahoo.com](mailto:tayebbeh.hatami@yahoo.com)

DOI: [10.29252/nkjmd-010024](https://doi.org/10.29252/nkjmd-010024)

### How to Cite this Article:

Sayyedi A, Rahimi S, Rahmani A, Askari G, Hatami SE, Hatami ST. The Effect of Peridates Activated with Nano Particles of Magnesium Oxide in The Presence of Ultraviolet Waves for the Removal of 2-Chlorophenol from Aqueous Solutions. JNKUMS. 2018; 10 (2): 21-30.

URL: <http://journal.nkums.ac.ir/article-1-1515-fa.html>

Received: 27 Sep 2017

Accepted: 08 May 2018

### Keywords:

2-Chlorophenol  
Ultraviolet Waves  
Magnesium Oxide  
Nanoparticle  
Pridate

© 2018 North Khorasan  
Medical Sciences

### Abstract

**Introduction:** 2-Chlorophenols are toxic and hazardous pollutants in industrial effluents and sewage. Due to their toxicity and instability, these compounds are known as pollutants with a high environmental profile, even at low concentrations. This study aimed to determine the efficiency of activated peridates with magnesium oxide nanoparticles in the presence of ultraviolet waves for removing 2-chlorophenol from aqueous solutions.

**Methods:** In this experimental study, the photochemical analysis of 2-chlorophenol was performed in a 2.5-liter Discontinuous cylindrical reactor. A 55-watt low-pressure mercury lamp was used to produce ultraviolet waves with a wavelength of 254 nm. The parameters affecting the absorption process (pH 3 to 11), the dose of nanoparticles (0 to 1.5 mmol/L), 2-chlorophenol concentration (0.22 to 1.76 mmol / L), Peridat concentration (0 to 4 mmol/L), and contact time (0 to 60 minutes) were investigated.

**Results:** In the combined process of peridate activation with magnesium oxide nanoparticles in the presence of ultraviolet light (UV/PI/MgO), the maximum removal rate of 2-chlorophenol was at pH 7, the concentration of peridates was 4 milliuless per liter, the concentration of nano magnesium oxide particle 1 milliliter Mole per liter and initial regimen of 0.44 mM / L of 2-chlorophenol were obtained. In these conditions, about 85% of 2-chlorophenol was removed passing over 60 minutes. . Also, by increasing the initial concentration of adsorbent and adsorbate, the efficiency of removing 2-chlorophenol decreased.

**Conclusions:** Magnesium oxide nanoparticles are suitable for the removal of 2-chlorophenol and are efficient. The pH value equaling 7, the peridate concentration of 4 mmol/L, magnesium oxide nanoparticles with 0.44 mmol/L concentration and a 60 minute time are the optimum states by 2-chlorophenol.