



دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز  
فصلنامه آلودگی‌های محیطی و توسعه پایدار شهری

دوره اول، شماره ۱، پیاپی ۱  
بهار ۱۴۰۳، صفحات ۴۱-۳۳

## "مقاله پژوهشی"

# حذف پارانیتروفنل از محیط‌های آبی توسط فرایند $UV/S_2O_8^{2-}$ در یک فتوراکتور پیوسته: بهینه‌سازی به روش طراحی آزمایش تاگوچی

حذف پارانیتروفنل توسط فرایند  $UV/S_2O_8^{2-}$  در یک فتوراکتور پیوسته

سیدحامد ظفری غازانی\*

دانش آموخته دکتری شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

\*نویسنده مسئول مکاتبات: seyzed.hamed.zafari@gmail.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰، پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۹/۱۲)

## چکیده

در این کار تحقیقی حذف یک آلاینده آلی تحت عنوان پارانیتروفنل (PNP) با استفاده از فرایند  $UV/S_2O_8^{2-}$  در یک فتوراکتور پیوسته آنولار مورد بررسی قرار گرفته و شرایط عملیاتی موثر در کارآیی فرایند به روش تاگوچی بهینه‌سازی شده است. با توجه به نتایج طراحی آزمایش به روش تاگوچی، شرایط بهینه برای غلظت اولیه PNP برابر با  $40 \text{ mg L}^{-1}$ ، برای pH برابر با ۳، برای غلظت  $S_2O_8^{2-}$  برابر با  $\text{mM}$  ۱۸ و برای زمان اقامت برابر با  $17/24 \text{ min}$  می‌باشد. در این شرایط مقدار درصد حذف برابر با ۹۸٪ می‌باشد که با مقدار تجربی آن یعنی ۹۵٪ مطابقت خوبی دارد. همچنین روش تاگوچی مؤثرترین پارامتر در حذف PNP را غلظت  $S_2O_8^{2-}$  با سهم ۴۳٪ نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: فتوراکتور جریان پیوسته آنولار، پارانیتروفنل، طراحی تاگوچی،  $UV/S_2O_8^{2-}$

## مقدمه

تمام آب‌های طبیعی دارای آلودگی‌هایی هستند که از فرآیندهای فرسایش، شستشو و هوازگی خاک‌ها ناشی می‌شوند. یکی دیگر از مهم‌ترین عوامل آلودگی‌های آب‌های سطحی، تخلیه پساب‌های صنعتی و فاضلاب‌ها به محیط زیست می‌باشد که اگر بدون تصفیه به محیط زیست وارد شوند می‌توانند به طرق مختلف، اکوسیستم آبی را بطور نامطلوبی تحت تاثیر قرار دهند، لذا برای حفاظت منابع آبی و زیرزمینی و نیز برای دسترسی به آب آشامیدنی مطلوب، لازم است این آلاینده‌ها را از منابع شان حذف کنیم. بسیاری از فرآیندها به منظور تخریب یا تجزیه این عوامل آلاینده، سال‌هاست که بکار برده می‌شوند که از آن جمله می‌توان به فرآیندهای انعقاد، اکسیداسیون شیمیایی، جذب سطحی بر روی کربن فعال شده، اکسیداسیون کاتالیستی و... اشاره کرد (۲-۱).

روش‌های متداول تصفیه پساب‌ها شامل سه دسته می‌باشند (۳):

الف) روش‌های بیولوژیکی

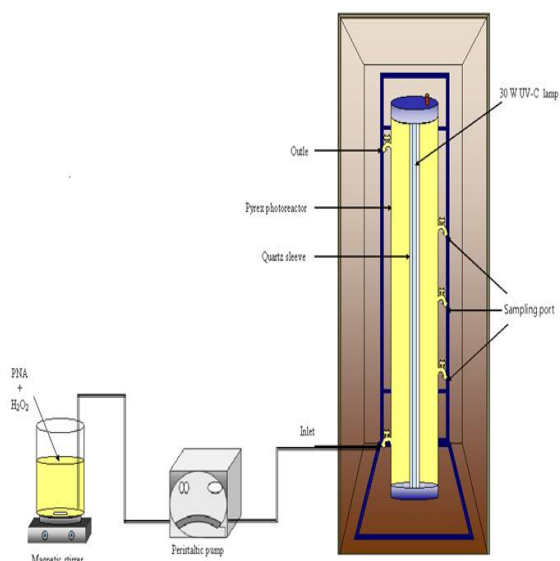
ب) روش‌های فیزیکی

ج) روش‌های شیمیایی

با وجود اینکه روش تصفیه بیولوژیکی روشی مؤثر می‌باشد، اما گاهی در غلظت‌های بسیار بالا و پایین آلاینده‌ها دارای مشکلاتی می‌باشد. در روش‌های فیزیکی مانند جذب سطحی بر روی کربن فعال، عملکرد کربن فعال برای محدوده غلظت‌های  $10-100 \text{ mgL}^{-1}$  مؤثر می‌باشد و فقط به عنوان فرایند انتقال از یک فاز به فاز دیگر عمل می‌کند (۴). از دیگر روش‌های تصفیه فیزیکی روش اسمز معکوس

می‌باشد ولی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست (۵). بطورکلی فرآیندهای مذکور قادر به تخریب و نابودی آلاینده‌های محیط زیست نمی‌باشند. در سال‌های اخیر فرآیندهای اکسایش پیشرفته (AOPs) بسیار مورد توجه بوده و استفاده از آنها رشد چشمگیری داشته است. به طور کلی در فرآیندهای اکسایش پیشرفته رادیکال‌های فعال هیدروکسیل تولید می‌شوند. به خاطر قدرت اکسیدکنندگی بالای رادیکال‌های هیدروکسیل، اغلب فرآیندهای اکسایش پیشرفته بر پایه تولید این گونه استوار هستند. استفاده از اشعه UV و یک ماده اکسیدکننده مناسب مانند  $H_2O_2$  یکی از موثرترین روش‌های اکسایش پیشرفته می‌باشد. این روش در حذف آلاینده‌های آلی مقاوم در برابر تجزیه بیولوژیکی، بسیار مؤثر است (۶). در سال‌های اخیر توجه زیادی به جایگزین نمودن سایر اکسیدکننده‌ها به جای هیدروژن پراکسید صورت گرفته است. پراکسی‌دی‌سولفات یک کاندیدای مناسب برای این منظور است، این ترکیب یک اکسیدکننده قوی بوده و کاربرد زیادی در صنعت نفت دارد. پتاسیم پراکسی‌دی‌سولفات در مقایسه با سایر اکسیدکننده‌ها نظیر هیدروژن پراکسید و ازون ارزان‌تر بوده و کارآیی قابل توجهی از خود نشان داده است (۱۶-۷).

پارانیتروفنل (PNP) یکی از مشتقات فنل می‌باشد. و از مهم‌ترین ترکیباتی است که به عنوان حدواسط یا پیش‌ماده در تولید مواد آلی سنتزی مانند آنتی‌اکسیدان‌ها، مواد افزودنی سوختی، بازدارنده‌های خوردگی، آفت‌کش‌ها، عوامل گندزدا، داروهای ماکیان و سنتزهای دارویی استفاده می‌شود. رهاسازی PNP به طور مستقیم، به دلیل سمیت و سرطان‌زایی



شکل (۱): شمای فتوراکتور پیوسته

#### - روش کار

در هر آزمایش ۲۰۰۰ میلی‌لیتر از محلول PNP (Merck) و پتاسیم پراکسی‌دی‌سولفات (Merck) با غلظت‌های مشخص تهیه و به یک بشر پیرکس که بر روی یک بهم زن مغناطیسی (Ika) قرار گرفته و در طول آزمایش کاملاً هم زده می‌شود منتقل می‌گردد. محلول توسط پمپ پرستالتیک (Heidolph, PD 5001) به فتوراکتور آنولار پیوسته تزریق شده و در خروجی‌های معین، ۱۰ میلی‌لیتر از نمونه جمع‌آوری شده و توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV/Vis (Ultrospec 2000, Biotech Pharmacia, England) و با استفاده از نمودار کالیبراسیون تهیه شده غلظت باقیمانده PNP، اندازه‌گیری می‌شود. به منظور اندازه‌گیری شدت تابش نور فرابنفش از دستگاه اندازه‌گیری شدت تابش نور (Leybold Co., GmbH) استفاده شده است. شدت تابش در سطح لوله کوارتز برابر با ۴۲ وات بر مترمربع می‌باشد. به منظور طراحی

مشکلات زیست محیطی خیلی جدی را سبب خواهد شد (۱۷).

در این مقاله کارائی فرایند فتواکسیداسیونی  $UV/S_2O_8^{2-}$  در حذف PNP به عنوان یک نمونه از آلاینده‌های محیط زیست در یک فتوراکتور آنولار پیوسته بررسی شده و پارامترهای موثر در فرایند به روش تاگوچی مورد بهینه‌سازی قرار گرفته است.

#### بخش تجربی

##### - مواد مورد استفاده

PNP، پتاسیم پراکسی‌دی‌سولفات ( $K_2S_2O_8$ )، سدیم هیدروکسید (NaOH) و نیتریک اسید ( $HNO_3$ ) از شرکت مرک (Merck) تهیه شده است.

##### - شرح ساختار فتوراکتور مورد استفاده

شمای فتوراکتور پیوسته با تابش از مرکز در شکل ۱ نشان داده شده است. این فتوراکتور از یک راکتور از جنس پیرکس با قطر داخلی ۷۰ میلی‌متر و ضخامت ۲/۵ میلی‌متر و به ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر که در فواصل ۲۰ سانتی‌متر از آن سه محل نمونه‌برداری تعبیه شده تشکیل شده است. در مرکز فتوراکتور یک لامپ UV-C، ۳۰ W، با طول موج نشری ۲۵۴ نانومتر (Philips, Holland) در داخل یک لوله کوارتز به قطر داخلی ۳۰ میلی‌متر و ضخامت ۲/۵ میلی‌متر قرار گرفته است. به منظور تزریق محلول از یک پمپ پرستالتیک (Heidolph, PD 5001) با شدت قابل تنظیم استفاده می‌شود. جریان حاوی PNP از ورودی فتوراکتور که در پایین آن تعبیه شده وارد و از آخرین خروجی که در بالای فتوراکتور تعبیه شده خارج می‌شود.

جدول (۱): فاکتورها و سطوح آنها برای طراحی آزمایش

فاکتور	سطح			
	۱	۲	۳	۴
غلظت اولیه PNP ( $mg L^{-1}$ )	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
pH	۹	۷	۵	۳
غلظت $S_2O_8^{2-}$ (mM)	۱/۵	۶	۱۲	۱۸
$\tau$ (min)	۴/۳۱	۸/۶۲	۱۲/۹۳	۱۷/۲۴

بدر نظر گرفتن ۴ فاکتور در ۴ سطح تغییر برای هر کدام، آرایه متعامد مناسب باید برای آن انتخاب شود. از آنجایی که هر فاکتور دارای درجه آزادی ۳ است یعنی کل درجه آزادی برابر ۱۲ خواهد بود لذا آرایه مناسب آرایه  $L_{16}$  خواهد بود. جدول (۲) آرایه  $L_{16}$  مورد نظر را نشان می‌دهد. در این آرایه ۴ فاکتور در ۴ سطح تغییر می‌کنند که هر سطر از ماتریس نشان دهنده یک آزمایش می‌باشد. بنابراین جمعاً ۱۶ آزمایش با در نظر گرفتن شرایط سطوح برای بهینه‌سازی و تعیین درجه تاثیر هر کدام از فاکتورها لازم خواهد بود. نتایج هر آزمایش با ۳ بار تکرار در جدول (۳) آرایه شده است.

آزمایش به روش طراحی تاگوچی از نرم افزار Qualitek-4 استفاده شده است.

### نتایج و بحث

- بهینه‌سازی کارایی فتوراکتور پیوسته در حذف PNP به منظور بدست آوردن حداکثر اطلاعات برای بهینه‌سازی کارایی فتوراکتور آنولار پیوسته در حذف PNP در فرآیند  $UV/S_2O_8^{2-}$  و همین‌طور تعیین سهم هر یک از پارامترهای مؤثر در راندمان حذف، از روش طراحی آزمایش با استفاده از روش تاگوچی بهره برده شده است. در این روش از خاصیت آرایه‌های متعامد برای بدست آوردن تعداد آزمایش‌های لازم استفاده می‌شود. در این قسمت چهار متغیر شامل غلظت اولیه PNP، pH، غلظت  $S_2O_8^{2-}$  و زمان اقامت ( $\tau$ ) به عنوان متغیرهای اصلی مؤثر در کارایی فتوراکتور در نظر گرفته شده‌اند. هر کدام از این فاکتورها در چهار سطح تغییر می‌کنند. فاکتورهای مورد استفاده و سطوح هر کدام از آنها در جدول (۱) نشان داده شده است. در صورت بکارگیری روش فاکتوریال کامل برای طراحی آزمایش تعداد ۴<sup>۴</sup> آزمایش یعنی ۲۵۶ آزمایش بایستی صورت گیرد. همانطوری که مشخص است بکارگیری روش فاکتوریال کامل نیاز به تعداد آزمایشات زیادی دارد. بدین سبب استفاده از یکی از روش‌های طراحی آزمایش برای بهینه‌سازی فرآیند لازم است.

جدول (۲): آرایه متعامد L16 برای طراحی آزمایش

شماره آزمایش	سطوح فاکتورها			
	غلظت اولیه PNP	pH	غلظت $S_2O_8^{2-}$	$\tau$
۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۲	۲
۳	۱	۳	۳	۳
۴	۱	۴	۴	۴
۵	۲	۱	۲	۳
۶	۲	۲	۱	۴
۷	۲	۳	۴	۱
۸	۲	۴	۳	۲
۹	۳	۱	۳	۴
۱۰	۳	۲	۴	۳
۱۱	۳	۳	۱	۲
۱۲	۳	۴	۲	۱
۱۳	۴	۱	۴	۲
۱۴	۴	۲	۳	۱
۱۵	۴	۳	۲	۴
۱۶	۴	۴	۱	۳

- تعیین شرایط بهینه کارایی فتوراکتور پیوسته

برای تعیین شرایط بهینه و سهم هر یک از پارامترهای مؤثر از روش آنالیز استاندارد و رسم نمودارهای مربوطه استفاده شده است. مقدار پاسخ متوسط در جدول (۳) گزارش شده است. میانگین مقادیر پاسخ متوسط برای هر سطح از پارامترها به عنوان مقدار متوسط پاسخ در جدول (۴) گزارش شده است.

جدول (۴): پاسخ آنالیز تاگوچی کارایی فتوراکتور لوله‌ای پیوسته

فاکتور	پاسخ متوسط			
	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۴
غلظت اولیه PNP ( $mg L^{-1}$ )	۶۳/۲۶	۳۹/۲۶	۳۸/۲۳	۲۹/۵۰
pH	۳۷/۸۲	۴۰/۵۶	۴۴/۷۴	۴۷/۱۱
غلظت $S_2O_8^{2-}$ (mM)	۱۸/۷۲	۳۸/۰۹	۵۴/۹۷	۵۸/۴۶
$\tau$ (min)	۲۳/۵۹	۴۰/۳۳	۴۹/۴۶	۵۶/۸۶

جدول (۳): نتایج آزمایشات و مقدار پاسخ متوسط بر اساس آرایه L16

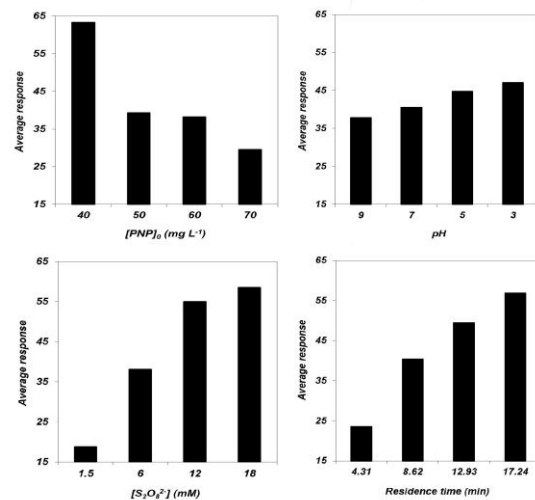
شماره آزمایش	درصد حذف در دفعات تکرار			مقدار پاسخ متوسط
	۱	۲	۳	
۱	۱۶/۳۲	۱۶/۵۰	۱۶/۸۷	۱۶/۵۶
۲	۵۱/۹۶	۵۱/۸۲	۵۲/۲۰	۵۱/۹۹
۳	۸۵/۹۴	۸۵/۸۰	۸۶/۰۲	۸۵/۹۲
۴	۹۸/۸۰	۹۷/۹۰	۹۹/۰۰	۹۸/۵۷
۵	۳۷/۲۷	۳۷/۱۲	۳۸/۱۰	۳۷/۵۰
۶	۲۸/۷۲	۲۸/۹۰	۲۹/۰۸	۲۸/۹۰
۷	۳۵/۵۸	۳۵/۸۰	۳۶/۰۰	۳۵/۷۹
۸	۵۴/۶۰	۵۵/۱۰	۵۴/۸۰	۵۴/۸۳
۹	۵۷/۲۸	۵۷/۶۰	۵۸/۰۰	۵۷/۶۳
۱۰	۵۹/۸۵	۵۹/۸۰	۶۰/۰۰	۵۹/۸۸
۱۱	۱۴/۷۷	۱۴/۹۰	۱۵/۰۰	۱۴/۸۹

در شکل (۲)، پاسخ متوسط بر حسب هر پارامتر نشان داده شده است. از آنجایی که در روش مورد استفاده در این کار، حالت پاسخ از نوع بیشتر بهتر می‌باشد هر چه نسبت متوسط میانگین در یک سطح بیشتر باشد آن سطح از فاکتور مورد نظر بهینه خواهد بود. با توجه به نتایج، شرایط بهینه برای غلظت اولیه PNP، سطح ۱ ( $40 mg L^{-1}$ )، برای مقدار pH، سطح ۴ (۳)، برای غلظت  $S_2O_8^{2-}$  سطح ۴ (mM)

- تعیین سهم پارامترهای عملیاتی در کارایی فتوراکتور پیوسته

در روش تاگوچی با استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) اثر هر کدام از پارامترهای ورودی و سهم هر کدام از فاکتورها در پاسخ تعیین می‌شود. نتایج آنالیز ANOVA در جدول (۵) گزارش شده است. با توجه به جدول (۵) و شکل (۳)، غلظت S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> با ۴۳٪ بیش‌ترین تاثیر و pH با ۲٪ کم‌ترین تاثیر را در راندمان فرآیند دارند. همچنین غلظت PNP با ۲۷٪ مقام دوم و زمان اقامت با ۲۷٪ مقام سوم را در تاثیرگذاری بر راندمان فرآیند به خود اختصاص داده است.

(۱۸) و برای زمان اقامت، سطح ۴ (۱۷/۲۴ min) می‌باشد. در این شرایط مقدار درصد حذف برابر با ۹۸٪ می‌باشد که با مقدار تجربی آن یعنی ۹۵٪ مطابقت خوبی دارد.



شکل (۲): تاثیر هر پارامتر بر مقادیر پاسخ متوسط

جدول (۵): نتایج مربوط به تحلیل واریانس برای تعیین درصد تاثیر پارامترهای مختلف در کارایی فتوراکتور پیوسته

Percent	Pure Sum (S')	F-ratio	Variance (V)	Sum of Squares (S)	DOF	فاکتور
۲۷/۲۸	۷۵۳۶/۱۹	۷۸۵/۱۸	۲۵۱۵/۲۷	۷۵۴۵/۷۹	۳	غلظت اولیه PNP (mg L <sup>-1</sup> )
۲/۲۲	۶۱۳/۶۴	۶۴/۸۵	۲۰۷/۷۵	۶۲۳/۲۵	۳	pH
۴۳/۱۸	۱۱۹۲۰/۷۴	۱۲۴۲/۳۵	۳۹۷۹/۷۸	۱۱۹۳۹/۳۴	۳	غلظت S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup> (mM)
۲۶/۷۷	۷۳۹۵/۵۵	۷۷۰/۵۵	۲۴۶۸/۳۸	۷۴۰۵/۱۶	۳	τ (min)
۰/۵۵	-	-	۳/۲۰	۱۱۲/۱۹	۳	خطا

perspectives of electrocoagulation, Journal of Hazardous Materials, 114, 199.

[3] Behnajady, M.A., Modirshala, N., Daneshvar, N., Rabbani, M., 2007, Photocatalytic degradation of an azo dye in a tubular continuous-flow photoreactor with immobilized TiO<sub>2</sub> on glass plates, Chemical Engineering Journal, 127, 167.

[4] De, A.K., Bhattacharjee, S. Dutta, B.K., 1997, Kinetics of phenol photooxidation by hydrogen peroxide and ultraviolet radiation, Industrial & Engineering Chemistry Research, 36, 3607.

[5] Galindo, C. Kalt, A., 1998, UV-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Oxidation of monoazo dyes in aqueous media: a kinetic study, Dyes and Pigments, 40, 27.

[6] Legrini, O., Oliveros, E., Braun, A.M., 1993, Photochemical processes for water treatment, Chemical Reviews, 93, 671.

[7] Ding, X., Gutierrez, L., Croue, J.-P., Li, M., Wang, L., Wang, Y., 2020, Hydroxyl and sulfate radical-based oxidation of RhB dye in UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/persulfate systems: Kinetics, mechanisms, and comparison, Chemosphere, 253, 126655.

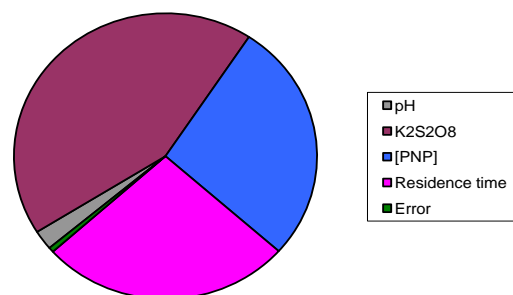
[8] Chen, L., Cai, T., Cheng, C., Xiong, Z., Ding, D., 2018, Degradation of acetamiprid in UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/persulfate systems: A comparative study, Chemical Engineering Journal, 351, 1137.

[9] Liu, X., Liu, Y., Lu, S., Wang, Z., Wang, Y., Zhang, G., Guo, X., Guo, W., Zhang, T., Xi, B., 2020, Degradation difference of ofloxacin and levofloxacin by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/PS (persulfate): Efficiency, factors and mechanism, Chemical Engineering Journal, 385, 123987.

[10] Lee, Y.-M., Lee, G., Zoh, K.-D., 2021, Benzophenone-3 degradation via UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/persulfate reactions, Journal of Hazardous Materials, 403, 123591.

[11] Ramakrishnan, R.K., Venkateshaiah, A., Gröbel, K., Kudlek, E., Silvestri, D., Padil, V.V.T., Ghanbari, F., Černík, M., Waclawek, S., 2023, UV-activated persulfates oxidation of anthraquinone dye: Kinetics and ecotoxicological assessment, Environmental Research, 229, 115910.

[12] Wei-Po Lai, W., Lin, J.-C., Li, M.-H., 2023, Degradation of benzothiazole by the UV/persulfate process: Degradation kinetics, mechanism and toxicity, Journal of



شکل (۳): سهم فاکتورهای مؤثر در کارایی فتوراکتور پیوسته

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که فتوراکتور آنولار پیوسته به طور مؤثری می‌تواند در حذف PNP با غلظت‌های اولیه نسبتاً بالا تحت فرآیند UV/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> مورد استفاده قرار گیرد. پارامترهای عملیاتی نظیر غلظت اولیه PNP، غلظت اولیه S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>، زمان اقامت در فتوراکتور و pH محلول در راندمان حذف PNP تأثیرگذار هستند و می‌توان با انتخاب شرایط مطلوب راندمان حذف را به طور قابل توجهی افزایش داد. طراحی آزمایش به روش تاگوچی نشان می‌دهد که از پارامترهای مؤثر در راندمان حذف، بیش‌ترین تأثیر مربوط به غلظت S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> بوده و کم‌ترین تأثیر را pH دارد. راندمان حذف در شرایط بهینه پیش‌بینی شده به روش طراحی آزمایش تاگوچی (۹۸٪) مطابقت خوبی با راندمان حذف تجربی (۹۵٪) دارد.

### تعارض منافع

نویسنده هیچ‌گونه تعارض منافع برای اعلام ندارد.

### منابع

- [1] Holt, P.K., Borton, G.W., Mitchell, C.A., 2005, The future for electrocoagulation as a localized water treatment technology, Chemosphere, 59, 355.
- [2] Mollah, M.Y.A., Morkovshy, P., Gomes, J.A.G., Kesmez, M., Paga, J., Cocke, D.L., 2004, Fundamentals, present and future

Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 436, 114355.

[13] Uwayezu, J.N., Carabante, I., Van Hees, P., Karlsson, P., Kumpiene, J., 2023, Validation of UV/persulfate as a PFAS treatment of industrial wastewater and environmental samples, Journal of Water Process Engineering, 53, 103614.

[14] Wang, Y., Zhou, J., Bi, W., Qin, J., Wang, G., Wang, Z., Fu, P., Liu, F., 2022, Schwertmannite catalyze persulfate to remove oxytetracycline from wastewater under solar light or UV-254, Journal of Cleaner Production, 364, 132572.

[15] Wang, M., Wang, Q., Cai, Y., Yuan, R., Wang, F., Qian, Y., Chen, Z., Zhou, B., Chen, H., 2021, Efficient degradation and defluorination of perfluorobutyric acid under UV irradiation in the presence of persulfate, Journal of Cleaner Production, 327, 129472.

[16] Fang, Z., Huang, R., Chelme-Ayala, P., Shi, Q., Xu, C., Gamal El-Din, M., 2019, Comparison of UV/Persulfate and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for the removal of naphthenic acids and acute toxicity towards *Vibrio fischeri* from petroleum production process water, Science of The Total Environment, 694, 133686.

[17] Sun, J.H., Sun, S.P., Fan, M.H., Guo, H.Q., Lee, Y.F., Sun, R.X., 2008, Oxidative decomposition of p-nitroaniline in water by solar photo-Fenton advanced oxidation process, Journal of Hazardous Materials, 153, 187.



“Research article”

## Removal of p-nitrophenol from aqueous environments by UV/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> process in a continuous photoreactor: Optimization by Taguchi method

### Removal of p-nitrophenol by UV/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> process

Seyyed Hamed Zafari\*

Department of Applied Chemistry, Faculty of Chemistry, Semnan University, Semnan, Iran

\*Corresponding author: seyyed.hamed.zafari@gmail.com

(Received: 2023 October 22, Accepted: 2023 December 3)

#### Abstract

The present research was an attempt to investigate the removal of an organic pollutant called p-nitrophenol (PNP) using the UV/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> process in a continuous annular photoreactor in order to optimize the operating conditions effective in the efficiency of the process through the Taguchi method. According to the results of the Taguchi method, the optimal conditions for initial concentration of PNP was equal to 40 mg L<sup>-1</sup> with pH equal to 3 and S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> concentration equal to 18 mM in a residence time of 17.24 min. In such conditions, the removal percentage is equal to 98%, which is in good agreement with its experimental value of 95%. Furthermore, the Taguchi method showed that the most effective parameter in the removal of PNP was the concentration of S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> with a contribution of 43%.

**Conflict of interest:** None declared.

**Keywords:** Continuous annular photoreactor, p-nitrophenol, Taguchi method, UV/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>