

Removal of O-Nitrophenol from Petrochemical Wastewater: Comparison Between SBR and MSBR Biological Reactors

E. Bakhshi Sarabi¹, M. R. Allahgholi Ghasri², A. Parsa³

1. Ph.D. Student, Dept. of Chemistry, College of Science, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Assist. Prof., Dept. of Chemistry, College of Science, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
(Corresponding Author) ghasri_mr@yahoo.com
3. Assist. Prof., Dept of Chemmistry, College of Science, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(Received March 13, 2021 Accepted Nov. 7, 2021)

To cite this article:

Bakhshi Sarabi, E., Allahgholi Ghasri, M. R., Parsa, A. 2022. "Removal of o-nitrophenol from petrochemical wastewater: comparison between SBR and MSBR biological reactors"
Journal of Water and Wastewater, 33(1), 77-88. Doi: 10.22093/wwj.2021.277116.3120 (In Persian)

Abstract

The discharge of wastewater from various industries such as petroleum and petrochemical, pollute water resources. The presence of these pollutants in water resources will cause disorders in the ecosystem and it has various risks to human health. The effluent usually contains organic matter, including phenol and its derivatives. In this study, three different types of reactors were used in the activated sludge process to study the biological removal of o-nitrophenol from the petrochemical industrial effluent. These reactors include Continuous Moving-Bed Sequencing Batch Reactor, Moving-Bed Sequencing Batch Reactor and conventional sequencing batch reactor. For this purpose, the operational indicators of each reactor were investigated and optimized. For MSBR, active sludge volume ratio (30%), aeration flowrate (18 L/min), operation time (4h), pH (7), filler to reactor volume ratio (4.7 %) and SVI (89 ml/g) were considered. Also, For C-MSBR indicators such as initial volumetric flowrate (20 ml/min), aeration flowrate (12 L/min), filler to reactor volume ratio (5.8 %) and SVI (98 ml/g) were optimized. As SBR is structurally similar to the other reactors, only initial volumetric flowrate was considered (40 ml/min) and based on the results, this reactor has better SVI (88 ml/g) than the other two reactors. Finally, based on the optimized parameters, percentage removal of ortho nitrophenol from a synthesized effluent, analogous to Karoon Petrochemical company effluent, was investigated by C-MSBR. In addition to o-nitrophenol, other chemicals such as Toluene and Benzene were also present. The results show the indicators including ortho nitrophenol percentage removal (84.7%), Chemical Oxidation Demand (COD) (94%), Biochemical Oxidation Demand (94.8%), BOD₅/COD (0.57) and SVI (74.45 ml/g) comply with environmental standards and the treated effluent can be used in irrigation and agriculture by addition of one more processing step.

Keywords: Wastewater, O-Nitrophenol, SBR, MSBR, (COD), (BOD₅).

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۳، شماره ۱، صفحه: ۷۷-۸۸

مقایسه عملکرد راکتورهای بیولوژیکی SBR و MSBR در حذف ارتونیتروفلن از پساب صنایع پتروشیمی

الناز بخشی سرابی^۱، محمدرضا الهقلی قصری^۲، علی پارسا^۳

- ۱- دانشجوی دکترا، گروه شیمی، دانشکده علوم، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
 ۲- استادیار، گروه شیمی، دانشکده علوم، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
 نویسنده مسئول: ghasri_mr@yahoo.com
 ۳- استادیار، گروه شیمی، دانشکده علوم، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(دریافت ۱۳۹۹/۱۲/۲۳ پذیرش ۱۴۰۰/۸/۱۶)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

بخشی سرابی، ا.، الهقلی قصری، م. ر.، پارسا، ع.، ۱۴۰۱، "مقایسه عملکرد راکتورهای بیولوژیکی SBR و MSBR در حذف ارتونیتروفلن از پساب صنایع پتروشیمی" مجله آب و فاضلاب، ۳۳(۱)، ۷۷-۸۸. Doi: 10.22093/wwj.2021.277116.3120

چکیده

تخلیه پساب صنایع مختلفی مانند نفت، پتروشیمی منجر به آلودگی منابع آبی می‌شود، پساب این صنایع به‌طور معمول حاوی مواد آلی از جمله فنل و مشتقات آن است. وجود این منابع آلاینده در آبهای جاری و منابع آبی باعث بروز اختلالات متعدد در زیست‌بوم و مخاطرات مختلف برای سلامتی انسان‌ها خواهد شد. این پژوهش با هدف بررسی حذف ماده ارتونیتروفلن در پساب صنایع پتروشیمی با روش بیولوژیکی و مقایسه عملکرد ۳ نوع راکتور SBR و MSBR جریان پیوسته و ناپیوسته در حضور لجن فعال انجام شد. به این منظور شاخص‌های عملیاتی و بهره‌برداری هریک از راکتورها بهینه‌سازی شد. شاخص‌های مطلوب شامل میزان لجن فعال (۳۰ درصد)، اثر هوادهی (۱۸L/min)، زمان عملیات (۴h)، pH برابر ۷، نسبت حجم پرکننده به حجم راکتور (۴/۷ درصد) و SVI (۸۹ml/g) برای راکتور MSBR جریان ناپیوسته حاصل شد. همچنین عوامل بهینه‌سازی راکتور MSBR جریان پیوسته نیز مانند شدت جریان ورودی (۲۰ ml/min)، نسبت حجم پرکننده به حجم راکتور (۵/۸ درصد)، اثر هوادهی (۱۲L/min) و SVI (۹۸ml/g) تعیین شد. در راکتور SBR به دلیل تشابه ساختاری صرفاً بررسی شدت جریان‌های حجمی مختلف پساب ورودی مدنظر بود که در شدت جریان ورودی (۴۰ ml/min) و SVI (۸۸ml/g) عملکرد مناسب‌تری مشاهده شد. در نهایت با توجه به برتری عملکرد راکتور MSBR جریان پیوسته نسبت به دو راکتور دیگر، پساب سنتزی مشابه پساب پتروشیمی کارون حاوی گونه‌های شیمیایی تولون، بنزن و ارتونیتروفلن (در شرایط تداخلی) تهیه شد و عملیات تصفیه با راکتور MSBR جریان پیوسته انجام شد که درصد حذف ارتونیتروفلن (آلاینده مدنظر) (۸۴/۷ درصد)، کاهش COD (۹۴ درصد)، کاهش BOD₅ (۹۴/۸ درصد)، نسبت BOD₅ به COD (۰/۵۷) و SVI (۷۴/۴۵ml/g) مشاهده شد. پساب تصفیه شده برای تخلیه با استانداردهای محیط‌زیستی تقریباً مطابقت خواهد داشت و با روش‌های ساده‌تر تصفیه و تنها با یک مرحله تکمیلی قابلیت تخلیه و یا استفاده در مصارف آبیاری و کشاورزی را دارد.

واژه‌های کلیدی: پساب، ارتونیتروفلن، SBR، MSBR، COD و BOD₅

۱- مقدمه

(Zularisam et al., 2006, Mohammed and Hameed, 2016, Raza et al., 2019, Benosmane et al., 2018) تصفیه توسط جاذب‌های سطحی (Roostaei and Tezel, 2004, Mehrizad and Gharbani, 2014, Abussaud et al., 2016, Zhang et al., 2015, Hameed et al., 2008, Abu-Nada et al., 2021) استخراج با حلال (Ustun and Büyükgüngör, 2007) و توسط روش الکتروشیمیایی (Abdelwahab et al., 2009, Tasic et al., 2013, El-Ashtoukhy et al., 2014) انجام شده است.

همچنین حذف ترکیباتی مشابه ماده موردنظر در این پژوهش مانند ۲- نیتروفل و ۴- نیتروفل با روش ازن‌زنی (Shokri, 2016, Shokri, 2015) و حذف فتوکاتالستی ۲- نیتروفل توسط جاذب نانومغناطیسی سازگار با محیط زیست (Shirsath and Shrivastava, 2015) انجام شد. در این میان حذف ۲- نیتروفل توسط روش بیولوژیکی با استفاده از راکتورهای MSBR و SBR به صورت جداگانه و یا ترکیبی از راکتورهای بیان شده در این پژوهش تاکنون گزارش نشده است.

درگاهی و همکاران در سال ۲۰۱۵ با استفاده از روش بیولوژیکی بی‌هوازی، حوضچه‌ای با مقیاس پایلوت و در مدت زمان ۵ روز مقدار حذف فنل را بررسی کردند. در این نتایج گزارش شده که میزان حذف فنل ۹۵/۸ درصد نسبت به غلظت اولیه ۵۰۰ mg/L در مدت زمان ۵ روز است (Dargahi et al., 2015). شگری در سال ۲۰۱۵ با استفاده از تصفیه شیمیایی میزان حذف ارتونیتروفل با بهره‌گیری از روش ازن‌زنی را بررسی کرد. در این پژوهش راکتور نیمه پیوسته به همراه دوز متغیری از ازن و در pH قلیایی درصد حذفی برابر ۹۹ درصد را گزارش کرده است (Shokri, 2015).

شگری در پژوهشی دیگر با استفاده از نانوکاتالیزور TiO_2 و گاز ازن میزان حذف پارانیتروفنل را بررسی کرد. نتایج گزارش شده حاکی از آن است که میزان حذف پارانیتروفنل با استفاده از $97.03/TiO_2$ درصد در مدت زمان ۶۰ دقیقه بود (Shokri, 2016). ژاک و همکاران در سال ۲۰۱۵ در گزارشی با استفاده از نانوگرافیت اکساید میزان حذف پارانیتروفنل را بررسی کردند. این گروه میزان حذف بیش از ۹۰ درصد را برای غلظت ۲۰۰ mg/L با مقدار ۴ g/L از نانوگرافیت اکساید در مدت زمان ۲۴ ساعت گزارش کردند (Zhang et al., 2015).

آب و منابع آبی در دنیای امروز جزء ارزشمندترین دارایی‌های کشورها به‌شمار می‌رود و افزایش روز افزون جمعیت، نیاز به آب آشامیدنی سالم، تصفیه آب و پساب‌ها و بهره‌گیری مناسب‌تر در مصارف کشاورزی را ضروری کرده است (Esm Hoseyni et al., 2010, Abdelfattah et al., 2016).

پساب صنایع مختلف به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آلوده‌کننده‌های آب‌های سطحی و زیرزمینی شناخته شده و چنانچه پساب خروجی صنایع، حاوی شاخص‌های آلودگی با غلظت بیشتر از استاندارد دفع باشند، آثار سوء ناشی از آن به صورت تهدید در سلامت انسان و محیط زیست پذیرنده ظاهر می‌شود. یکی از انواع فاضلاب‌های صنعتی، فاضلاب پالایشگاه‌های نفت و پتروشیمی است که مقدار زیادی روغن، چربی به‌صورت ذرات معلق، هیدروکربن‌های سبک و سنگین، فنل و مواد آلی حل شده دیگر دارند (Dargahi et al., 2014).

یکی از انواع آلاینده‌های متداول در پساب صنایع پتروشیمی، فنل‌ها و مشتقات آن است که حضور ترکیبات فنولی در پساب صنایع پتروشیمی تأثیری منفی بر اکوسیستم به‌طور مستقیم و غیرمستقیم دارد (Pasdar and Marandi, 2013). پساب‌های تولید شده توسط پتروشیمی کارون واقع در منطقه ماهشهر (بندر امام خمینی)، شامل ارتونیتروفل و دیگر مشتقات معطر است. همچنین حدود ۱۹۰ تن ماهانه پساب حاوی فنل توسط صنایع پتروشیمی، داروسازی و پلیمر دفع می‌شود (Gharbani et al., 2010, Shokri, 2015).

از آثار سوء ترکیبات فنولی بر روی انسان می‌توان به سردرد، تهوع، سرگیجه، اسهال و حتی مرگ و در دریاچه‌ها و آب‌های سطحی می‌توان به از بین بردن آبزیان و پرندگان کنار آبی اشاره کرد (Pasdar and Marandi, 2013, Shokri, 2015).

بر اساس منابع موجود، پژوهش‌های متعددی برای حذف ترکیبات فنولی از پساب صنایع مختلف با روش‌های گوناگون مانند روش‌های تصفیه زیستی شامل بیولوژیکی هوازی و بی‌هوازی (Moussavi et al., 2009, Dargahi et al., 2015)، تصفیه شیمیایی به کمک ازن‌زنی (Turhan and Uzman, 2008, Shokri, 2015, Shokri, 2016) تصفیه توسط غشاها و فیلتراسیون

پرکننده به حجم راکتور، pH، SVI و همچنین مقایسه عملکرد راکتورها است.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد شیمیایی و دستگاهها

مواد استفاده شده در این پژوهش شامل ارتونیتروفلن، تولوئن، بنزن، پتاسیم دی هیدروژن فسفات، آمونیوم نترات و ساکارز که از شرکت مرک^۱ و لجن فعال مورد نیاز از خط برگشت لجن تصفیه خانه فاضلاب قیطره تهران تهیه شد. برای اندازه گیری های اسپکتروفوتومتری از دستگاه Varian/Cary100، مقدار pH محلول ها با pH متر مدل Sartorius، مقدار COD با روش St.M.5220-D، BOD₅ با روش St.M.5210-B و SVI با روش St.M.2710D استفاده شد.

برای انجام بهینه سازی و تصفیه از راکتور MSBR جریان ناپیوسته (از جنس پلکسی گلاس شفاف به قطر ۱۰cm و ارتفاع ۲۰cm، حجم کل ۲ لیتر و حجم عملیاتی ۱/۸ لیتر و پرکننده های پلی اتیلنی به قطر ۲cm و پمپ های هوادهی با خروجی ۶ L/min) استفاده شد. همچنین راکتور MSBR جریان پیوسته با مشخصات (از جنس پلکسی گلاس با ابعاد ۲۰×۲۰×۲۵ و حجم عملیاتی ۸ لیتر، پرکننده های پلی اتیلنی با قطر ۲cm و پمپ های هوادهی با خروجی ۶ L/min) به کار گرفته شد. راکتور SBR با مشخصات (جنس پلکسی گلاس با ابعاد ۲۰×۲۰×۲۵ و حجم عملیاتی ۸ لیتر و پمپ های هوادهی با خروجی ۶ L/min) بهره برداری شد.

۲-۲- آماده سازی پساب

الف: برای آزمایش های بهینه سازی پارامترهای عملیاتی در راکتورهای مختلف محلول ۱۰mg/L ارتونیتروفلن تهیه شد. ب: برای آزمایش های پساب سنتزی مشابه پساب پتروشیمی، از ارتونیتروفلن، تولوئن و بنزن به ترتیب در حجم های مورد نیاز و با نسبت های ۸۵، ۷/۵ و ۷/۵ درصد با یکدیگر مخلوط شد.

۲-۳- اندازه گیری ارتونیتروفلن و کنترل شاخص های مؤثر

از منحنی کالیبراسیون (جذب-غلظت) ارتونیتروفلن در

فرایندهای بیولوژیکی تصفیه پساب به نحو گسترده ای برای تصفیه پساب ها استفاده می شوند، یکی از فرایندهای تصفیه بیولوژیکی راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی^۱ است. یکی از خصوصیات این راکتور انعطاف پذیری بسیار زیاد این سیستم در برابر اهداف مختلف تصفیه است (Khosravi et al., 2009).

مراحل مختلف این فرایند عبارت اند از ۱- مرحله پرکردن، ۲- مرحله واکنش، ۳- مرحله ته نشینی، ۴- مرحله تخلیه و ۵- مرحله سکون (Nazari Alavi, 2003). از ویژگی های سیستم SBR عدم نیاز به تانک ته نشینی ثانویه و سیستم برگشت لجن، کم بودن حجم راکتور، افزایش بازده حذف مواد آلی، بالا بودن میزان انتقال اکسیژن، تحمل زیاد شوک بار آلی و هیدرولیکی و مقرون به صرفه بودن در مقایسه با سیستم های لجن فعال است (Khosravi et al., 2009).

در طول این سال ها بسیاری از پژوهشگران در تلاش برای تغییر سیستم SBR در راستای بهبود عملکرد بوده اند. یکی از این شرایط اضافه کردن پرکننده^۲ به این سیستم بوده که شناور و متصل به فرایندهای در حال رشد است (Lim et al., 2011, Lim et al., 2012). راکتورهای بیولوژیکی مانند MSBR که شامل قطعات چرخنده و بستر متحرک هستند، بر پایه اتصال توده زیستی به حامل هایی که توسط جریان هوا در توده مایع غوطه ور هستند، عمل می کنند. این حامل ها می توانند شن، ماسه، کربن دانه ای و یا قطعات پلی اتیلنی باشند (Broch-Due et al., 1994). از مزایای راکتور MSBR می توان به کنترل بهتر ضخامت بیوفیلم، ویژگی انتقال جرم بیشتر، نداشتن گرفتگی و افت فشار کم آنها اشاره کرد (Abdelwahab et al., 2009, Lim et al., 2013).

بر اساس منابع موجود، گزارشی در تصفیه پساب پتروشیمی حاوی ارتونیتروفلن با استفاده از راکتور MSBR وجود ندارد. بر این اساس، درک جنبه های مختلف این فرایند به منظور بهبود بهره برداری از سیستم و عملیات حائز اهمیت است. بنابراین هدف اصلی از این پژوهش حذف ارتونیتروفلن از پساب صنایع پتروشیمی توسط راکتورهای SBR و MSBR (جریان پیوسته و ناپیوسته) در شرایط مختلف عملیاتی، شامل غلظت ارتونیتروفلن، پر کردن، هوادهی، زمان چرخه، شدت جریان حجمی، نسبت حجم

³ Merck

¹ SBR

² Media

۲-۵- عملیات تصفیه با راکتور MSBR

عملیات تصفیه ارتونیتروفنل در شرایط بهینه شده برای هرکدام از راکتورهای MSBR جریان پیوسته و ناپیوسته و SBR به طور جداگانه انجام شد.

۲-۶- تصفیه پساب سنتزی مشابه پتروشیمی با راکتور MSBR

جریان پیوسته

بر اساس نتایج عملکرد سه راکتور با یکدیگر و برتری راکتور MSBR جریان پیوسته در حذف ارتونیتروفنل نسبت به راکتورهای بیان شده برای تصفیه پساب سنتزی مشابه پتروشیمی استفاده شد. به دلیل آلاینده‌گی آلی بالای پساب سنتزی، از سه راکتور MSBR جریان پیوسته به صورت متوالی مطابق شکل ۲ برای حذف ارتونیتروفنل استفاده شد.

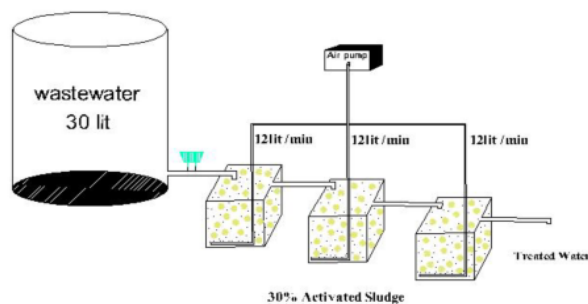


Fig. 2. Schematic diagram of the MSBR continuous flow reactor

شکل ۲- طرح شماتیک راکتور MSBR جریان پیوسته

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی متغیرهای عملیاتی در راکتور MSBR جریان

ناپیوسته

۳-۱-۱- میزان حجم لجن

با توجه به جدول ۱ مقدار ۳۰ درصد حجم لجن بهترین حذف را داشته، پس می‌توان نتیجه گرفت که بهترین حجم لجن فعال برای سیستم ۳۰ درصد حجم راکتور است و مقدار SVI آن نیز با توجه به اینکه معمولاً SVI کمتر از ۷۰ ml/g نشان‌دهنده تشکیل فلوکه‌های سر سوزنی و بیشتر از ۱۵۰ ml/g نشان‌دهنده شرایط حجم شدن لجن^۱ است. برای بهره‌برداری مناسب از لجن فعال دامنه

^۱ Balking

برای اندازه‌گیری این ماده با دستگاه اسپکتروفوتومتر (UV-visible) مطابق شکل ۱ استفاده شد و همچنین برای اندازه‌گیری این ماده در مخلوط پساب سنتزی نیز با در نظر گرفتن محاسبات ضریب جذب مولی ϵ در طول موج مذکور پایش کاهش غلظت این ماده در پساب انجام شد.

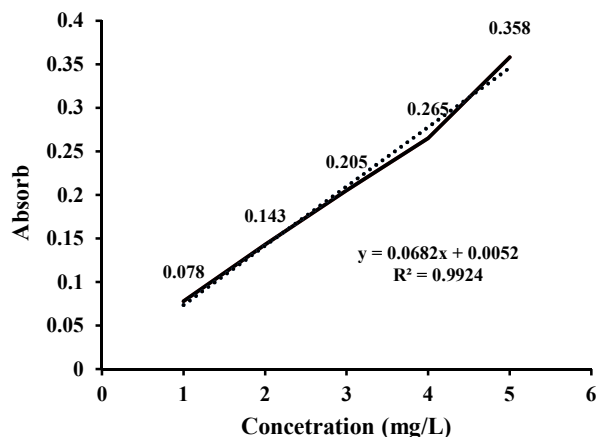


Fig. 1. Calibration curve of ONP

شکل ۱- منحنی کالیبراسیون ارتونیتروفنل

$$\% \text{ Removal} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

که در آن

C_0 و C_1 به ترتیب غلظت‌های اولیه و نهایی برحسب میلی‌گرم بر لیتر هستند.

همچنین طی عملیات تصفیه شاخص‌های مؤثر بهره‌برداری مانند pH، SVI، COD و BOD_5 تحت کنترل و اندازه‌گیری بود.

۲-۴- بهینه‌سازی متغیرهای عملیاتی راکتورهای MSBR و SBR

در این مرحله متغیرهای عملیاتی شامل شدت جریان حجمی ورودی پساب، تعداد پرکننده‌ها، میزان هوادهی، pH، حجم لجن و زمان عملیات ابتدا در راکتورهای MSBR جریان پیوسته و ناپیوسته به طور جداگانه بهینه‌سازی شدند و در بخش دیگر کاهش ارتونیتروفنل در راکتور SBR با تغییر در شاخص دبی و بر اساس مقدار بهینه شده در راکتور MSBR جریان پیوسته به دلیل تشابه ساختاری بررسی شد.

جدول ۲- میزان تأثیر هوادهی در راکتور MSBR جریان ناپیوسته

Table 2. Effect of aeration on the removal of ONP in the MSBR reactor with discontinuous flow

Test	Sample specification before treatment	Sample specification after treatment			
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4
Aeration rate (L/min)	---	6	12	18	20
pH	≈7	≈7	≈7	≈7	≈7
Concentration ONP (mg/L)	10	2.7	0.97	0.69	0.72
Removal percentage	--	73%	90.3%	93.1%	92.8%
SVI (ml/g)	--	65	79	93	105

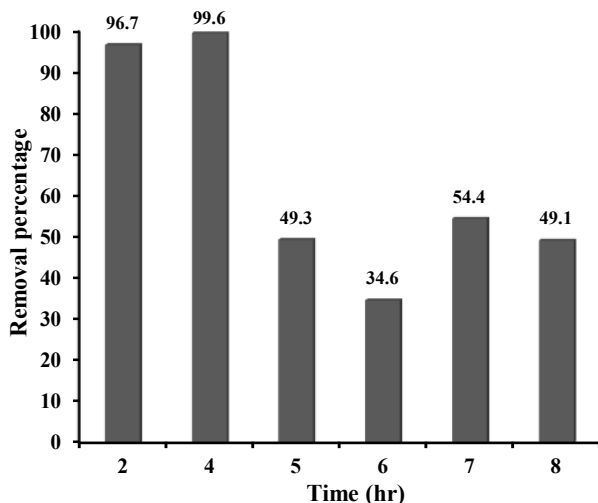


Fig. 3. The effect of time on the removal of ONP in the MSBR reactor with discontinuous flow

شکل ۳- میزان تأثیر زمان بر روی حذف ارتونیتروفنل در راکتور MSBR با جریان ناپیوسته

کارایی حذف را داشته و در نمونه شاهد (فاقد شرایط بیولوژیکی) از pH برابر ۸ به بعد در محیط قلیایی به دلیل تولید نمک درصد حذف افزایش می‌یابد. برای اینکه عامل راسب‌سازی اثر کمتری بر فرایند بیولوژیکی داشته باشد، pH برابر ۷ انتخاب شد. حال آنکه از pH برابر ۸ به بعد افت عملکرد روش بیولوژیک مشاهده شد. قلیایی و حضور نمک باعث اختلال عملکرد میکروارگانیسم‌ها و مسمومیت آنها نیز خواهد شد (Gharbani et al., 2010).

جدول ۱- میزان تأثیر لجن فعال بر روی حذف ارتونیتروفنل در راکتور MSBR با جریان ناپیوسته

Table 1. The effect of active sludge on the removal of ONP in the MSBR reactor with discontinuous flow

Test	Sample specification before treatment	Sample specification after treatment	
		Percentage of activated sludge 30%	35%
pH	≈7	≈7	≈7
Concentration of ONP	10	1.09	2.1
Removal percentage	---	89.1%	79%
SVI (ml/g)	----	89	61

SVI، ۸۰ تا ۱۰۰ ml/g توصیه می‌شود (Khosravi et al., 2009, Arnold et al., 1992).

۳-۱-۲- اثر میزان هوادهی

آنچه از نتایج جدول ۲ مشاهده می‌شود، این است که میزان هوادهی به مقدار ۱۸ L/min، بهترین کارایی حذف ارتونیتروفنل را داشته است. در نتیجه این مقدار را به عنوان هوادهی بهینه در نظر گرفته شد و آن‌گونه که مشاهده شد در هوادهی بالاتر ۲۰ L/min، SVI بیشتر از ۱۰۰ بود و همچنین درصد حذف مقداری کاهش داشته که علت آن، SVI نه چندان مناسب و تلاطم بیش از اندازه در اثر هوادهی بیشتر است که ته‌نشینی توده‌های بیولوژیکی را دچار اختلال می‌کند.

۳-۱-۳- اثر زمان عملیات

آنچه از نتایج بهینه‌سازی زمان (شکل ۳) دیده می‌شود آن است که در زمان ۴ ساعت بهترین کارایی حذف ارتونیتروفنل (۹۹/۶۰ درصد) وجود دارد که البته در زمان‌های بیش از ۴ ساعت با توجه به درصد حذف، امکان آزاد شدن آلاینده از روی سطح توده بیولوژیکی محتمل است.

۳-۱-۴- مقدار pH

با توجه به شکل ۴، درصد حذف نمونه اصلی در pH برابر ۷ بهترین

حذف برابر ۹۹/۸ درصد بود. همچنین امکان انتخاب شدت جریان ۳۰ ml/min نیز با توجه به شاخص حجمی لجن وجود داشت. در شدت جریان حجمی کمتر از ۲۰ ml/min امکان حذف بیشتر نیز بود اما به دلیل مدت زمان زیاد عملیات (حدوداً ۱۰ ساعت) و همچنین عدم تفاوت نه چندان زیاد نسبت به درصد حذف با ۲۰ ml/min و امکان آزاد شدن آلاینده‌های جذب شده بر روی سطح توده بیولوژیکی و پرکننده‌ها در اثر افزایش زمان عملیات وجود داشت.

۳-۲-۲- میزان تأثیر پرکننده‌ها

آنچه از نتایج بهینه‌سازی پرکننده‌ها در شکل ۶ مشاهده می‌شود این است که میزان نسبت حجم پرکننده به حجم راکتور (۵/۸ درصد) بهترین کارایی حذف برابر ۹۶/۷ درصد و میزان غلظت ارتونیتروفنل به ۰/۳ mg/L رسید.

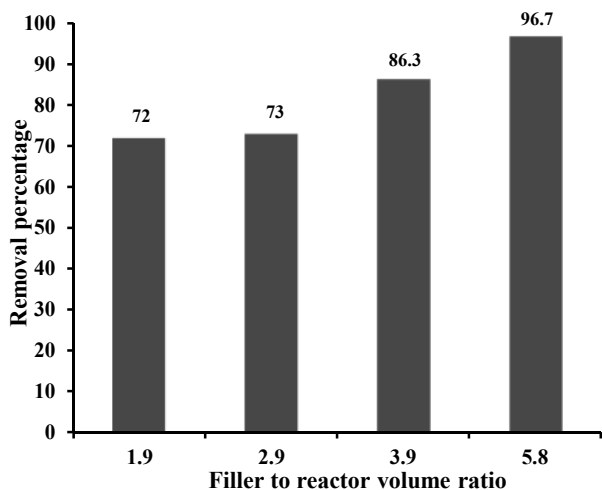


Fig. 6. Filler to reactor volume ratio on removal of ONP in MSBR reactor with continuous flow

شکل ۶- میزان تأثیر حجم پرکننده به حجم راکتور روی حذف ارتونیتروفنل در راکتور MSBR با جریان پیوسته

۳-۲-۳- اثر میزان هوادهی

آنچه از نتایج بهینه‌سازی هوادهی در شکل ۷ دیده می‌شود این است که در هوادهی با میزان ۱۲ ml/min بهترین کارایی حذف برابر ۹۹/۸ درصد را در SVI قابل قبول (۸۶ ml/g) داشت و افزایش هوادهی باعث افزایش تلاطم و تأثیر نه چندان مناسب بر ته‌نشینی توده‌های بیولوژیکی و اختلال در عملیات تصفیه داشت.

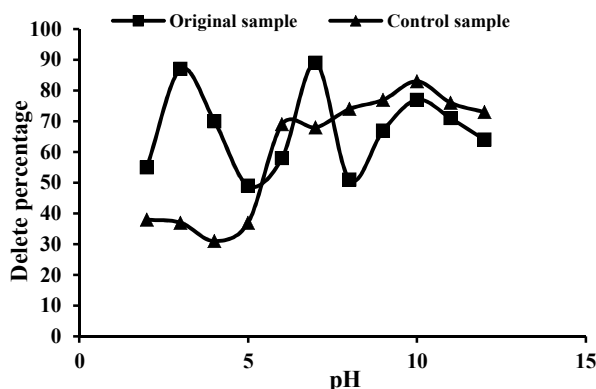


Fig. 4. The effect of pH on the removal of ONP in the MSBR reactor with discontinuous flow

شکل ۴- میزان اثر pH بر روی حذف ارتونیتروفنل در راکتور MSBR با جریان ناپیوسته

۳-۱-۵- میزان تأثیر پرکننده‌ها

با افزایش حجم پرکننده نسبت به حجم راکتور (شکل ۵) عدم تحرک و اختلاط نامناسب حین هوادهی مشاهده شد، بنابراین افزایش درصد حجمی پرکننده نیز محدودیت‌های عملیاتی خواهد داشت که درصد حجمی ۴/۷ درصد پرکننده با مقدار حذف ۹۴ درصد به عنوان حجم بهینه پرکننده انتخاب شد.

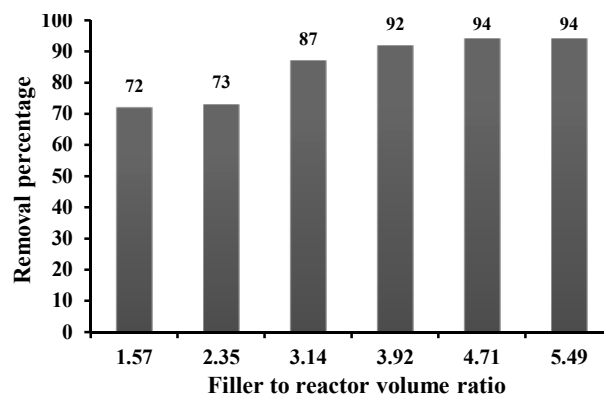


Fig. 5. Filler to reactor volume ratio on removal of ONP in MSBR reactor discontinuous flow

شکل ۵- میزان تأثیر حجم پرکننده به حجم راکتور بر روی حذف ارتونیتروفنل در راکتور MSBR با جریان ناپیوسته

۳-۲- راکتور MSBR با جریان پیوسته

۳-۱-۲- شدت جریان حجمی ورودی پساب

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳ بهترین کارایی حذف در شدت جریان حجمی ۲۰ ml/min در مدت زمان ۸ ساعت که میزان

جدول ۳- میزان تأثیر شدت جریان حجمی ورودی در راکتور MSBR با جریان پیوسته

Table 3. The effect of influent flow rate on the removal of ONP in the MSBR reactor with continuous flow

Test	Sample specification before treatment	Sample specification after treatment				
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
Influent flow rate (ml/min)	---	10	20	30	40	50
pH	≈7	≈7	≈7	≈7	≈7	≈7
Concentration of ONP (mg/L)	10	0.018	0.02	0.84	1.72	2.82
Removal percentage	---	99.82%	99.8%	91.6%	82.8%	71.8%
SVI (ml/g)	---	100	98	94.25	86.56	80.65

پیوسته بیشترین کارایی حذف ارتونیتروفنل را دارد که وجود پرکننده‌ها امکان برخورد تماسی حداکثری و زمان ماند بیشتر برای میکروارگانیسم‌ها با پساب را بیشتر فراهم کرده‌اند. بنابراین در هر دو نوع جریان راکتور MSBR نسبت به SBR برتری داشته که وجود پرکننده به‌عنوان عامل مشترک در آنها می‌تواند در این برتری تأثیرگذار باشد.

۳-۵- تصفیه پساب سنتزی مشابه پتروشیمی با راکتور MSBR با جریان پیوسته

با توجه به حضور سایر گونه‌های شیمیایی در محلول، حذف ارتونیتروفنل با سه راکتور به‌صورت متوالی انجام شد و با افزایش تعداد راکتورها و زمان کل ۲۸ ساعت باعث کاهش بار آلودگی و

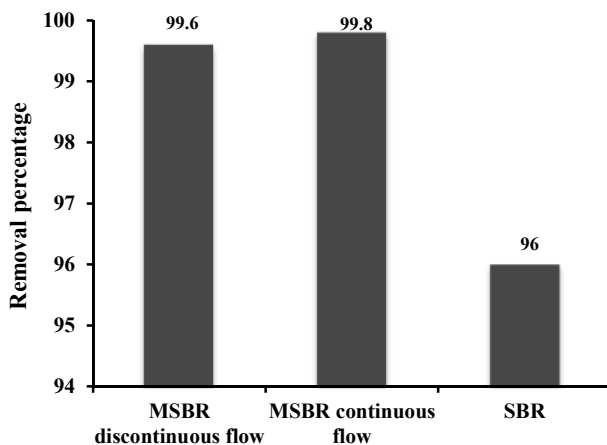


Fig. 8. Comparison of the performance of reactors in waste water treatment containing ONP

شکل ۸- مقایسه عملکرد راکتورها در تصفیه پساب حاوی ارتونیتروفنل

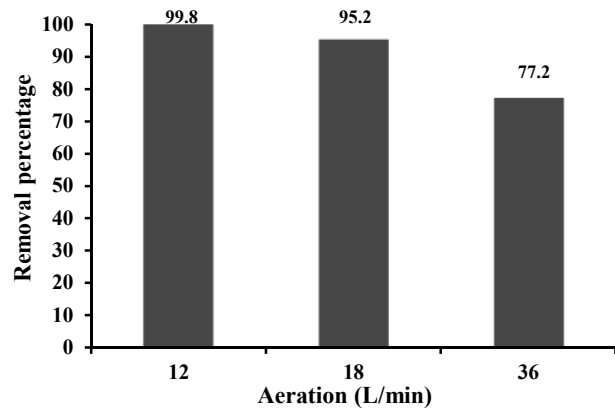


Fig. 7. Effect of aeration on the removal of ONP in the MSBR reactor with continuous flow

شکل ۷- میزان تأثیر هوادهی بهینه روی حذف ارتونیتروفنل در راکتور MSBR با جریان پیوسته

۳-۳- راکتور SBR

۳-۱- میزان شدت جریان حجمی پساب ورودی

با توجه به اطلاعات کافی در سیستم MSBR با جریان پیوسته و مشابه بودن عملکرد آن با سیستم SBR، از اطلاعات بهینه سیستم MSBR با جریان پیوسته (مقدار هوادهی، حجم لجن و pH) برای سیستم SBR استفاده شد و فقط شدت جریان حجمی در این سیستم بهینه شده که با توجه به نتایج جدول ۴ بهترین کارایی حذف که معادل ۹۵/۶ درصد در شدت جریان حجمی ۴۰ ml/min، مشاهده شد.

۳-۴- مقایسه راکتورها

با توجه به شکل ۸ می‌توان مشاهده کرد که راکتور MSBR با جریان

جدول ۴- میزان تأثیر شدت جریان حجمی ورودی پساب در راکتور SBR

Table 4. Effect of fluent flow rate in SBR reactor

Test	Sample specification before treatment	Sample specification after treatment			
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4
Influent flow rate (ml/min)	---	20	30	40	50
pH	≈7	≈7	≈7	≈7	≈7
Concentration (mg/L)	10	3.43	2.85	0.44	2.83
Removal percentage	--	65.7%	71.5%	95.6%	72%
SVI (ml/g)	---	76	77.93	88	78

ارتونیتروفل را می‌توان در چگونگی اندازه‌گیری BOD و COD که در برگیرنده کلیه گونه‌های موجود در پساب سنتزی بوده و اندازه‌گیری شده‌اند دانست. حال آنکه درصد حذف گزارش شده برای ارتونیتروفل صرفاً مربوط به اندازه‌گیری این ماده در محلول پساب سنتزی بوده است. نسبت BOD₅/COD در خروجی از راکتور برابر ۰/۵۷ بود. (جدول ۵).

افزایش درصد حذف گونه‌های شیمیایی و ارتونیتروفل در هر راکتور نسبت به راکتور قبلی رو به پیشرفت بوده و در پایان درصد حذف ارتونیتروفل در حضور سایر گونه‌ها (پساب سنتزی) ۸۴/۷ درصد مشاهده شد. کاهش بار آلودگی COD و BOD₅ به ترتیب ۹۴ و ۹۴/۸ درصد رخ داد که بالاتر بودن مقدار آنها نسبت درصد حذف آلاینده

جدول ۵- تصفیه پساب سنتزی با سیستم MSBR با جریان پیوسته

Table 5. Synthetic wastewater treatment with continuous flow system MSBR

Test	Input waste	MSBR ₁	MBSR ₂	MBSR ₃
pH	≈ 7	≈7	≈7	≈7
SVI	-	68.22	70.20	74.45
Removal percentage	-	48%	67.3%	84.7%
COD	1711.2	1150	460	102.59
Percent reduction (COD)	--	32.7%	73.1%	94%
BOD ₅	1126.7	----	----	58.554
Percent reduction (BOD ₅)	---	----	----	94.8%

جدول ۶- تغییرات BOD₅ و COD در طی فرایند تصفیه پساب با راکتورهای MSBR

Table 6. Changes in BOD₅ and COD during wastewater treatment with MSBR reactors

Test	Input waste	MSBR ₁	MBSR ₂	MBSR ₃
COD	1693	1143	503	116.3
Percentage reduction (COD)	--	32.4%	70.2%	93.1%
BOD ₅	1004	667.5	292.75	67
Percentage reduction (BOD ₅)	---	33.51%	70.84%	93.32%

حضور گونه‌های تداخل‌گر دیگر متفاوت بوده و درصد حذف این ماده از ۹۹/۸ به ۸۴/۷ درصد کاهش یافت. مقدار BOD_5 (۵۸/۵۵ mg/L) و COD (۱۰۲/۵۹ mg/L) در پساب سنتزی پس از تصفیه اندازه‌گیری شد که تقریباً با استانداردهای محیط‌زیست مطابقت دارد. البته می‌توان با یک مرحله تصفیه تکمیلی با روش‌های ساده‌تر، امکان استفاده در مصارف آبیاری کشاورزی و یا تخلیه به چاه‌های جذبی را فراهم کرد.

بر اساس منابع موجود در حذف ارتونیتروفلن یا ترکیباتی حاوی فنل، روش ازن‌زنی در pH های قلیایی درصد حذفی برابر ۹۷ درصد (Shokri, 2015) و همچنین روش فوتوکاتالیستی توسط جاذب نانومغناطیسی در pH های اسیدی ۹۰ درصد حذف ارتونیتروفلن خالص (Shirsath and Shrivastava, 2015) در محلول رخ داده است. در روش‌های بیان شده ارتونیتروفلن به صورت خالص و بدون گونه تداخل‌گر بررسی شده اما در روش فعلی در pH خنثی و در حضور سایر گونه‌های تداخلی ۸۴/۷ درصد حذف مشاهده شد.

در سایر پژوهش‌ها کاهش غلظت فنول از محلول‌های آبی توسط نانوتیوپ‌های کربن (۸۸ درصد) و جاذب کربن اکتیو تهیه شده از استخوان (۸۲/۳ درصد) (Mubarak et al., 2017) و استفاده از غشاهای مایکرو یونی برای حذف ۴- نیتروفلن (۹۹ درصد) (Mohammed and Hameed, 2016) گزارش شده است. نتایج حاصل برای نمونه‌های خالص مواد مذکور بوده و این روش‌ها هزینه بیشتری نسبت به روش بیولوژیکی MSBR خواهد داشت.

با توجه به محدودیت سایر روش‌های بیان شده، مشکلاتی مانند تأمین تجهیزات و تعمیر و نگهداری را به‌همراه خواهد داشت. به‌کارگیری روش بیولوژیکی ارزان و در دسترس و زیست سازگارتر با محیط است و کارایی تقریباً مناسبی داشته است.

۵- قدردانی

به این وسیله از همکاری آزمایشگاه تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام (ره) شهر ری که انجام این پژوهش همکاری و مساعدت داشته‌اند، قدردانی می‌شود.

در آزمون‌های دیگر تغییرات BOD_5 و COD در طی فرایند تصفیه در سه راکتور MSBR جریان پیوسته به صورت متوالی پایش شد. نتایج آن در جدول ۶ و رسم مقدار آنها در شکل ۹ گزارش شده است. شیب خط منحنی نشان‌دهنده نسبت BOD_5/COD (۰/۵۹۳۴) است.

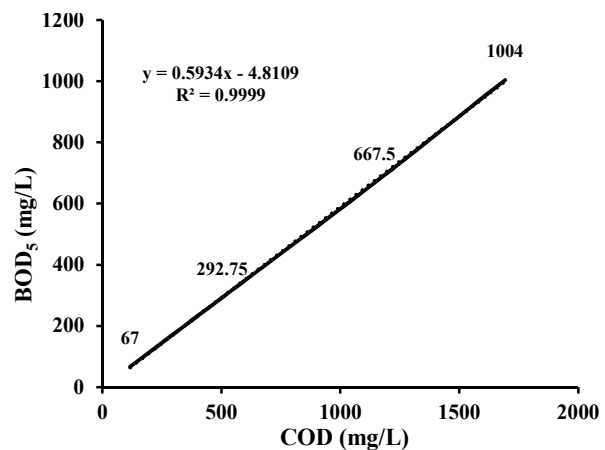


Fig. 9. Changes in BOD_5/COD in the treatment process with the MSBR reactor

شکل ۹- بررسی تغییرات BOD_5/COD در فرایند تصفیه با راکتور MSBR

۴- نتیجه‌گیری

پس از بهینه‌سازی روش‌های بیولوژیکی، حذف ارتونیتروفلن (عدم حضور گونه‌های تداخل‌گر) با راکتورهای MSBR جریان پیوسته، MSBR جریان ناپیوسته و SBR با جریان ناپیوسته؛ راکتور MSBR جریان پیوسته کارایی بیشتری (درصد حذف ۹۹/۸ درصد) نسبت به سایر روش‌های بیان شده را دارد. برتری راکتور مذکور را به‌علت وجود پرکننده‌هایی که با حرکت توده‌های بیولوژیکی همراه هستند و ورود تدریجی پساب (آلاینده) به‌داخل راکتورها دانست. البته قابل‌ذکر است که هر سه روش اعمال شده بیش از ۹۶ درصد کارایی و بازده حذف آلاینده را دارد و روش MSBR پیوسته به‌دلیل پیوستگی جریان و شرایط مشابه پایلوت نیمه‌صنعتی در این پژوهش به کار گرفته شد.

عملکرد راکتور MSBR جریان پیوسته در حذف ارتونیتروفلن از محلول آبی نسبت به پساب سنتزی مشابه پتروشیمی به‌علت

References

- Abdelfattah, I., Ismail, A. A., Sayed, F. A., Almedolab, A. & Aboelghait, K. M. 2016. Biosorption of heavy metals ions in real industrial wastewater using peanut husk as efficient and cost effective adsorbent. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 6, 176-183.
- Abdelwahab, O., Amin, N. K. & El-Ashtoukhy, E. S. Z. 2009. Electrochemical removal of phenol from oil refinery wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 163(2-3), 711-716.
- Abu-Nada, A., Abdala, A. & Mckay, G. 2021. Removal of phenols and dyes from aqueous solutions using graphene and graphene composite adsorption: a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 105858.
- Abussaud, B., Asmaly, H. A., Ihsanullah, Saleh, T. A., Gupta, V. K., Laoui, T., et al. 2016. Sorption of phenol from waters on activated carbon impregnated with iron oxide, aluminum oxide and titanium oxide. *Journal of Molecular Liquids*, 213, 351-359.
- Arnold, E., Greenberg, L. & Clescori, W. 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater 18th ed.* American Public Health Association, Washington, USA.
- Benosmane, N., Boutemur, B., Hamdi, S. M. & Hamdi, M. 2018. Removal of phenol from aqueous solution using polymer inclusion membrane based on mixture of CTA and CA. *Applied Water Science*, 8(1), 1-16.
- Broch-Due, A., Anderson, R. & Kristoffersen, O. 1994. Pilot plant experience with an aerobic moving bed biofilm reactor for treatment of NSSC wastewater. *Water Science and Technology*, 29(5-6), 283-294.
- Dargahi, A., Pirsahab, M., Savadpour, M. T., Alighadri, M. & Farokhi, M. 2014. Impact of time and temperature on the efficiency of the stabilized pond system in the treatment of sewage. *Environmental Science and Technology*, 16(2), 13-24. (In Persian)
- Dargahi, A., Sharafi, K., Almasi, A. & Asadi, F. 2015. Effect of biodegradable organic matter concentration on phenol removal rate from oil refinery wastewater using anaerobic pond system. *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences*, 18(12), 690-700. (In Persian)
- El-Ashtoukhy, E. S. Z., El-Taweel, Y. A., Abdelwahab, O. & Nassef, E. 2013. Treatment of petrochemical wastewater containing phenolic compounds by electrocoagulation using a fixed bed electrochemical reactor. *International Journal of Electrochemical Science*, 8(1), 1534-1550.
- Esm Hoseyni, M., Solati Far, S., Mirzanejad, A. & Solati Far, N. 2010. Investigating the methods of water and wastewater treatment in developed countries. *Journal of Applied Chemistry*, 14, 75. (In Persian)
- Gharbani, P., Khosravi, M., M. Tabatabaie, S., Zare, K., Dastmalchi, S. & Mehrizad, A. 2010. Degradation of trace aqueous 4-chloro-2-nitrophenol occurring in pharmaceutical industrial wastewater by ozone. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7(2), 377-384.
- Hameed, B. H., Chin, L. H. & Rengaraj, S. 2008. Adsorption of 4-chlorophenol onto activated carbon prepared from rattan sawdust. *Desalination*, 225(1-3), 185-198.
- Khosravi, M., Rabani, M., Marandi, R. & Alahgholi Ghasri, M. R. 2009. Optimization of effective parameters on bio-logic removal of copper and nickel concentrations using batch reactors with successive operations. *Environmental Science and Technology*, 11(3), 179-191. (In Persian)
- Lim, J. W., Lim, P. E. & Seng, C. E. 2012. Enhancement of nitrogen removal in moving bed sequencing batch reactor with intermittent aeration during REACT period. *Chemical Engineering Journal*, 197, 199-203.
- Lim, J. W., Lim, P. E., Seng, C. E. & Adnan, R. 2013. Simultaneous 4-chlorophenol and nitrogen removal in moving bed sequencing batch reactors packed with polyurethane foam cubes of various sizes. *Bioresour Technology*, 129, 485-494.

- Lim, J. W., Seng, C. E., Lim, P. E., Ng, S. L. & Sujari, A. N. 2011. Nitrogen removal in moving bed sequencing batch reactor using polyurethane foam cubes of various sizes as carrier materials. *Bioresour Technology*, 102, 76-83.
- Mehrizad, A. & Gharbani, P. 2014. Decontamination of 4-Chloro-2-Nitrophenol from aqueous solution by graphene adsorption: equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(6), 2111-2116.
- Mohammed, S. A. & Hameed, M. S. 2016. Extraction of 4-nitrophenol from aqueous solutions using bulk ionic liquid membranes. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 6, 542-550.
- Moussavi, G., Mahmoudi, M. & Barikbin, B. 2009. Biological removal of phenol from strong wastewaters using a novel MSBR. *Water Research*, 43(5), 1295-1302.
- Mubarak, N. M., Sezila, N., Nizamuddin, S., Abdullah, E. C. & Sahu, J. N. 2017. Adsorptive removal of phenol from aqueous solution by using carbon nanotubes and magnetic biochar. *Nanoworld Journal*, 3(2), 32-37.
- Nazari Alavi, A. R., Hashemian, S. J. D. & Khodadadi Moghadam, M. 2003. Wastewater treatment of metalworking industry by discontinuous reactor method with sequential operation. *Iranian Chemical Chemistry and Chemical Engineering*, 22(2), 1-6. (In Persian)
- Pasdar, H. & Marandi, R. 2013. Effect of phenol loading on wastewater treatment by activated sludge process. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 3(11), 121-126.
- Raza, W., Lee, J., Raza, N., Luo, Y., Kim, K. H. & Yang, J. 2019. Removal of phenolic compounds from industrial waste water based on membrane-based technologies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 71, 1-18.
- Roostaei, N. & Tezel, F. 2004. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption. *Environmental Management*, 70(2), 157-164.
- Shirsath, D. S. & Shrivastava, V. S. 2015. Photocatalytic removal of o-nitro phenol from wastewater by novel an eco-friendly magnetic nanoadsorbent. *International Journal of Environmental Research*, 9(1), 363-372.
- Shokri, A. 2015. Degradation of 2-nitrophenol from petrochemical wastewater by ozone. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 88(12), 2038-2043.
- Shokri, A. 2016. Degradation of 4-Nitrophenol from industrial wastewater by nano catalytic ozonation. *International Journal of Nano Dimension*, 7(2), 160-167.
- Tasic, Z., Gupta, V. & Antonijevic, M. 2014. The mechanism and kinetics of degradation of phenolics in wastewaters using electrochemical oxidation. *International Journal of Electrochemical Science*, 9(7), 3473-3490.
- Turhan, K. & Uzman, S. 2008. Removal of phenol from water using ozone. *Desalination*, 229(1-3), 257-263.
- Ustun, S. & Büyükgüngör, H. 2007. Removal of phenol from aqueous solutions using various biomass. *Journal of Biotechnology*, 131(1), S74-S97.
- Zhang, B., Li, F., Wu, T., Sun, D. & Li, Y. 2015. Adsorption of p-nitrophenol from aqueous solutions using nanographite oxide. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 464, 78-88.
- Zularisam, A. W., Ismail, A. F. & Salim, R. 2006. Behaviours of natural organic matter in membrane filtration for surface water treatment a review. *Desalination*, 194(1-3), 211-231.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

