بررسی تأثیر بار آلودگی و شرایط محیطی بر زدایش زیست‌شناختی تولوئن از فاضلاب در سیستم بی‌هوازی

منوچهر وثوقی (استاد)
ایران عالم‌زاده (استاد)
مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی و کنترل محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف

مواد آلی حلقوی به‌دلیل پایداری در محیط می‌توانند وارد آب‌های سطحی و یا زیرزمینی شده و این منابع را به مواد خطرناک آلوده سازند. تولوئن که در بسیاری از صنایع، از جمله در صنعت پتروشیمی، مورد استفاده قرار می‌گیرد، یکی از آلوده‌ترین ترکیبات است که حلالیت نسبتاً خوبی در آب دارد و بدین ترتیب باعث آلودگی می‌شود. حذف تولوئن در محیط‌های آبی به‌طریق زیست‌شناختی و در شرایط غیرهوازی و هوازی امکان‌پذیر است. در این طرح برای حذف تولوئن از فاضلاب از یک سیستم زیست‌شناختی هوازی (RBC) ــ به‌دلیل داشتن مزایا نسبت به سایر روش‌های هوازی از جمله لجن فعال ــ استفاده می‌شود. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که افزایش غلظت تولوئن ورودی، بازده حذف COD تغییر عمده‌یی نمی‌یابد ولی تولوئن کمتری حذف می‌شود. حداکثر غلظت ورودی تولوئن ۴۰ میلی‌گرم در لیتر است که در این شرایط فقط ۶۶ درصد آن حذف می‌شود. بار آلودگی بر بازده حذف COD تأثیر مثبت قابل توجهی دارد ولی غلظت COD، در خروجی را افزایش می‌دهد.

مقدمه

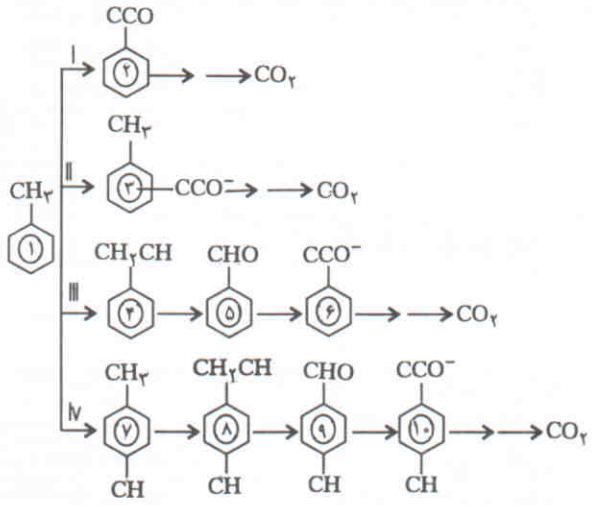
با توجه به کمبود منابع آب کشور، به‌ویژه در چند سال اخیر، استفاده‌ی بهینه از این منابع بسیار ضروری است. رشد جمعیت، شهرنشینی و صنعت عوامل عمده‌ی آلودگی آب‌های جاری و زیر زمینی هستند. یکی از مهم‌ترین مواد آلوده ترکیبات آلی حلقوی و پایداری هستند که از طریق دفع پساب‌های تصفیه نشده‌ی صنایع نفت و گاز و پتروشیمی، صنایع رنگ و پلاستیک و چسب، ونظایر آن وارد محیط‌های آبی می‌شوند. ترکیبات حلقوی و پایدار این مواد می‌توانند به لایه‌های زیرزمین نفوذ کرده و باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی نیز بشوند. لذا راه جلوگیری از این آلودگی‌ها تصفیه‌ی مناسب و دقیق این‌گونه فاضلاب‌هاست.

با توجه به اینکه ایران در زمینه‌ی نفت و پتروشیمی و صنایع وابسته به آن فعالیت زیادی دارد و تولوئن نیز یکی از موادی است که در این صنایع تولید می‌شود و در فاضلاب آنها نیز به‌وفور یافت می‌شود، این ماده را به‌عنوان آلوده کننده‌ی آلی خطرناک در این طرح انتخاب، و روش بهینه‌ی حذف آن را مورد مطالعه قرار داده‌ایم.

در حال حاضر ذغال‌سنگ و نفت منابع اصلی تولید تولوئن هستند. در گذشته برای تولید ترکیبات حلقوی، به مرور تغییرات تکنیکی فراوانی بر صنعت ذغال‌سنگ و فرایندهای نفتی انجام گرفته که منجر به افزایش میزان تولید تولوئن و کاهش هزینه‌ی تمام شده‌ی آن شده‌اند. مهم‌ترین کاربرد تولوئن، کاهش استفاده از سرب در بنزین اتومبیل‌هاست. به‌علت ملاحظات زیست‌محیطی افزایش تقاضای تولوئن به‌منظور استفاده در تولید بنزین بدون سرب مشهود است.[۱] تولوئن از مواد شیمیایی نسبتاً سمی است و بخارات آن در شرایط خاصی خطرناک است.

تولوئن رامی‌توان به دو روش عمده‌ی فیزیکی ـشیمیایی و زیست‌شناسی تصفیه کرد. از میان روش‌های فیزیکی ـشیمیایی، شناورسازی و به‌دنبال آن جذب سطحی برای ترکیبات آلی مناسب به‌نظر می‌رسند.[۲] در این زمینه تحقیقاتی بر روی پساب صنعتی منطقه‌ی شعیبیه‌ی (Shuaiba) کویت انجام شد و با توجه به حضور ترکیباتی چون بنزین ـکلروفرم، اتیل بنزین، تولوئن و زایلن‌ها در پساب صنعتی این منطقه، یک‌دستگاه نیمه‌صنعتی برای بررسی نقش شناورسازی هوا در حذف این ترکیبات از پساب‌ها طراحی و ساخته شد.[۱]

اطلاعات اندکی در ارتباط با حذف زیست‌شناختی ترکیبات حلقوی، به‌خصوص در سیستم‌های بیوفیلم در دسترس است. با توجه به انتشار روزافزون این مواد در محیط، و آسیب‌های وارده به اکوسیستم آبی و در نهایت زندگی انسان، انجام مطالعات و تحقیقات



شکل ۱. مسیرهای اصلی حذف زیست‌شناختی تولوئن در شرایط بی‌هوازی.[۴]

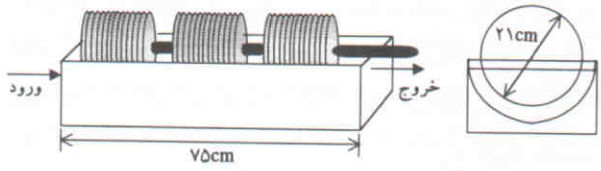
بیشتر در این زمینه ضروری به‌نظر می‌رسد. تولوئن به‌سادگی توسط همه‌ی ریزاندامگان[۱] هوازی قابل حذف نیست. برخی از گونه‌های باکتری‌ها شامل سودوموناس پوتیدا[۱] و سودوموناس اروجینوزا[۱] قادر به حذف تولوئن هستند.[۳] تولوئن همچنین توسط ریزاندامگان غیر هوازی قابل تجزیه است.[۴] در شکل ۱ چرخه‌ی زیست‌شناسی اصلی به‌منظور حذف تولوئن در شرایط بی‌هوازی دیده می‌شود.

در رابطه با حذف تولوئن توسط میکروب‌های هوازی و به‌خصوص در سیستم‌های بیوفیلم، مطالعات کمتری نسبت به محیط‌های کشت معلق انجام شده است. در یک تحقیق به‌منظور تعیین پارامترهای سینتیکی حذف تولوئن تحت شرایط هوازی چنین نتیجه گیری شده است که حذف تولوئن در غلظت‌های کمتر از ۰/۱۴mg/l از درجه‌ی اول، و در غلظت‌های بیش از ۶mg/l از درجه‌ی صفر است.[۵]

تصفیه‌ی زیست‌شناختی هوازی در فاضلاب‌ها با غلظت بالای تولوئن، به‌دلیل حلالیت کم اکسیژن و انتقال جرم ضعیف آن، مناسب نیست.[۶] همچنین با توجه به توانایی قابل ملاحظه‌ی تولوئن برای تقویت کشت میکروبی در شرایط بی‌هوازی، غالباً از این روش به‌عنوان یکی از روش‌های کارآمد تصفیه استفاده می‌شود، ولی در غلظت‌های پایینِ تولوئن روش‌های هوازی نیز کاربرد دارند. در این طرح، با توجه به غلظت اندک تولوئن، از سیستم هوازی استفاده شده و شرایط مناسب آن تعیین شده است.

مواد و روش‌ها

سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده در این طرح، واحد تصفیه‌ی



شکل ۲. نمای ساده‌یی از واحد تصفیه‌ی RBC با تعیین محل ورود و خروج فاضلاب.

جدول ۱. مشخصات واحد تصفیه‌ی زیست‌شناختی RBC مورد استفاده در طرح.

مشخصات	اندازه
طول تانک اصلی	۷۵ cm
عرض تانک اصلی	۲۴ cm
حجم کل تانک	۸/۲ lit
تعداد مراحل	۳
تعداد دیسک‌ها در هر مرحله	۲۴
قطر دیسک	۲۱ cm
ضخامت دیسک	۳ mm
فاصله‌ی هر دیسک	۵ mm

جدول ۲. نوع مواد و تغییرات غلظت آن‌ها در فاضلاب وردی به واحد تصفیه‌ی زیست‌شناختی.

نوع مواد	میزان غلظت (mg/l)
ملاس چغندرقند	۱۲۰۰-۱۳۰ (بر حسب COD)
NH_4CL	۷-۶۹
K_2HPO_4	۳-۳۴
تولوئن	۱-۴۰

دیسک‌های چرخان RBC است.[۷] مشخصات دستگاه در جدول ۱ و نمای ساده‌یی از آن در شکل ۲ ارائه شده است.

دیسک‌ها از جنس پلی‌اتیلن هستند و حدود ۲۹ درصد سطح کل دیسک‌ها در محلول فاضلاب قرار می‌گیرد. سرعت دورانی آن ثابت و معادل ۱۵ دور در دقیقه است.

برای تأمین شرایط مناسب رشد میکروب‌ها از یک فاضلاب سینتیک استفاده شد. همچنین سعی شد از ریزاندامگان ایزوله شده در بخش اول طرح نیز استفاده شود. ولی به‌دلیل رشد بسیار زیاد انواع دیگر باکتری‌ها، متأسفانه امکان کنترل رشد میکروب‌های ایزوله نشده وجود نداشت. به‌منظور تأمین نیتروژن و فسفر، از کلرید آمونیوم و دی پتاسیم هیدروژن فسفات استفاده شد و نسبت BOD:N:P در محدوده‌ی ۱۰۰:۵:۱ تنظیم شد. جدول ۲ ترکیب فاضلاب ورودی به سیستم را نشان می‌دهد.

نتایج و آزمایش‌ها

برای راه‌اندازی سیستم تصفیه‌ی زیست‌شناختی، از لجن فعال برگشتی به استخر هوادهی مرحله‌ی اول تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهرک اکباتان استفاده شده است. ابتدا به هر یک از مراحل RBC در حدود ۴۰۰ میلی‌لیتر لجن اضافه می‌شود و بار آلودگی فاضلاب طوری تنظیم می‌شود که COD ورودی به حدود ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر برسد. طی مدت ۴ روز برای جلوگیری از خروج زودهنگام ریزاندامگان، سیستم به‌طور منقطع عمل کرده و سپس جریان فاضلاب به‌طور پیوسته برقرار شده است. فاصله‌ی زمانی شروع به کار سیستم تا رسیدن به حالت پایدار، حدود ۴۰ روز است. پس از گذشت دو ماه از راه‌اندازی عملیات، ماده‌ی خطرناک تولوئن به سیستم تزریق شد. افزودن تولوئن از غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر آغاز شد و تا ۴۰ میلی‌گرم در لیتر ادامه یافت. بلافاصله پس از افزایش تولوئن، تغییراتی در بیوفیلم متصل به دیسک‌ها و بازده حذف COD مشاهده شد. جدول ۳ میانگین بازدهی نهایی حذف COD و تولوئن را در غلظت‌های متفاوت تولوئن ورودی و جدول ۴ تغییرات راندمان حذف COD را بر حسب بار سطحی ورودی به RBC نشان می‌دهد.

چنان که مشاهده می‌شود، تا غلظت‌های حدود ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، بازدهی در حد بسیار خوبی است (۹۶٪)؛ اما بر اثر زیاد شدن غلظت تولوئن در ورودی بازدهی حذف کاهش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد شدت کاهش تولوئن نسبت به غلظت ورودی از درجه‌ی صفر باشد.

به‌منظور تعیین شرایط بهینه‌ی حذف تولوئن در P^H و درجه حرارت‌های مختلف، عملیاتی انجام گرفت. همچنین با تغییر زمان ماند، میزان بار آلودگی بهینه نیز تعیین شد. در این آزمایش P^H از ۶/۵ الی ۷/۵، و درجه حرارت از ۱۹ الی ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تغییر داده شد. غلظت COD ورودی ثابت و برابر ۳۵۰ میلی‌گرم بر لیتر است. جدول ۵ خلاصه‌یی از نتایج این آزمایش‌ها را پس از چندین بار تکرار نشان می‌دهد.

قابل ذکر است که در بخش عمده‌یی از عملیات میکروب‌های جدا شده در مرحله‌ی اول طرح استفاده شد، ولی متأسفانه تغییر عمده‌یی در میزان بازدهی حذف مشاهده نشد. بر این اساس مخلوطی از ریزاندامگان مورد آزمایش قرار گرفتند که شناسایی دقیق آنها به‌راحتی امکان‌پذیر نبود و با توجه به حصول بازدهی مناسب نتیجه‌گیری شد که شناسایی دقیق آن‌ها نیز چندان ضروری نیست.

همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش بار هیدرولیکی بازده کاهش می‌یابد. درجه حرارت ۲۷ درجه سانتی‌گراد و P^H بین ۷/۳-۶ مناسب‌ترین شرایط برای کار سیستم تعیین می‌شود.

جدول ۳. نتایج آزمایش های انجام شده هنگام افزایش غلظت تولوئن ورودی.

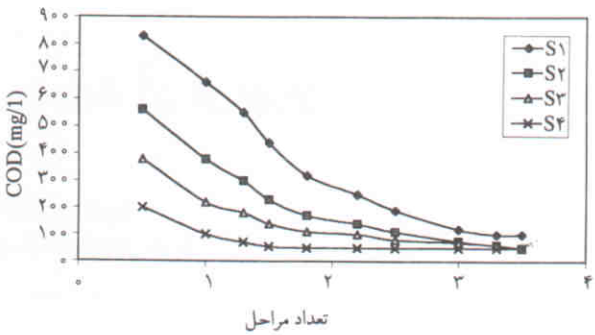
غلظت تولوئن در فاضلاب ورودی (mg/l)	میانگین بازده حذف COD (٪)	بازده حذف تولوئن (٪)
۱	۸۸	۹۹
۵	۸۸/۴	۹۸
۱۰	۸۷/۹	۹۷/۶
۱۵	۸۸/۳	۹۷
۲۰	۸۹/۱	۹۶
۲۵	۹۰	۸۵
۳۰	۹۰/۴	۷۶
۳۵	۹۰/۸	۷۱
۴۰	۹۱/۹	۶۶

جدول ۴. نتایج حاصل از عملکرد سیستم در بارهای آلودگی متفاوت در حضور تولوئن.

متوسط COD ورودی (mg/l)	متوسط بار آلودگی gr COD/m^2.d	بازده‌حذف COD (٪)	متوسط COD خروجی (mg/l)
۱۲۵	۱/۵۶	۷۳/۶	۳۳
۳۲۵	۴/۰۵	۸۱	۶۲
۵۵۰	۶/۸۶	۸۰	۱۱۰
۸۵۰	۱۰/۶	۷۹/۴	۱۷۵

جدول ۵. افزایش بازدهی حذف با افزایش زمان ماند فاضلاب در سیستم.

زمان ماند (min)	بار هیدرولیک (m^3/m^2 .d)	راندمان حذف COD (٪)
۳۰	۰/۰۷۶	۴۵
۶۰	۰/۰۳۸	۶۸/۴
۹۰	۰/۰۲۵	۷۶/۴
۱۲۰	۰/۰۱۹	۷۸/۵
۱۵۰	۰/۰۱۵	۸۳/۲
۱۸۰	۰/۰۱۳	۸۶/۴
۲۱۰	۰/۰۱۱	۸۶/۹
۲۴۰	۰/۰۰۹۵	۸۷/۱
۲۷۰	۰/۰۰۸۵	۸۷/۳



شکل ۳. کارآیی هر یک از مراحل دستگاه RBC در کاهش آلودگی فاضلاب با بارهای متفاوت در حضور تولوئن.

S_1 = ۱/۵۶gr COD/m^2.d
S_2 = ۴/۹۵gr COD/m^2.d
S_3 = ۶/۸۶gr COD/m^2.d
S_4 = ۱۰/۶gr COD/m^2.d

برای بررسی کارایی هریک از مراحل دستگاه RBC در نقاط خروجی، از هر بخش نمونه‌برداری شد و میزان COD اندازه‌گیری شد که نتایج در شکل ۳ مشاهده می‌شود. مقادیر S_1 تا S_4 نشان‌دهنده‌ی بارهای آلودگی متفاوت است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بخش عمده‌ی آلودگی در مرحله‌ی اول سیستم RBC حذف می‌شود، که البته اگر بار آلودگی افزایش یابد لازم است از مراحل بیشتری برای تصفیه استفاده شود.

نتیجه‌گیری

بررسی شرایط محیطی در حذف زیست‌شناختی تولوئن در سیستم RBC نشان می‌دهد که با افزایش غلظت تولوئن ورودی، بازدهی حذف COD تغییر چندانی نیافته و درصد حذف تولوئن کاهش می‌یابد.

همچنین افزایش بار آلودگی باعث بالا رفتن غلظت COD در خروجی می‌شود. بررسی کارایی هر یک از مراحل دستگاه RBC نشان می‌دهد که بخش عمده‌ی آلودگی در مراحل اولیه‌ی این سیستم حذف می‌شود ولی با افزایش بار آلودگی نیازیه استفاده از مراحل بیشتر نیز وجود دارد.

پانوشت

1. microorganism

منابع

1. Alvarez., Pedro J.J. and Timothy, M. Vogel. "Substrate interactions of benzene, toluene and para-xylene during microbial degradation by pure cultured and mixed culture quifer slurries", *Applied and Environmental Microbiology*, **57** (10), pp 2981-2985 (1991).
2. Al., Muzaini, S, Khordagui, H. and Hamouda, M.F. "Removal of VOC_s from refinery and petrochemical wastewaters using dissolved air flotation", *Wat. Sci. Tech.*, **30** (3), pp 79-90 (1994).
3. Antonie, L. Ronald. "Fixed biological surface - wastewater treatment. the ratating biological contactor", Published by CRC press, (1976).
4. Arcangeli., J.P. and Arvin, E, "Toluene biodegradation and biofilm growth in an aerobic fic=xed film reactor", *Appl. Microbial*, **37**, pp 510-517 (1992).
5. Arcangeli., J.P. and Arvin, E, "Kinetics of toluene degradation in an biofilm system under denitrifying conditions", *Wat. Sci. Tech.*, **29** (10,11), pp 393-400 (1994).
6. Arcangeli, J.P. and Arvin, E., "Biodegradation rates of aromatic contaminants in biofilm reactors", *Wat. Sci. Teck.* **31** (1), pp 117-128 (1995).
7. Banerjee, G. "Phenol and thiocyanate - based wastewater treatment in RBC reactore", *Journal of Environmental Engineering*, **122** (10), pp 941-948 (1996).