Toluene Biodegradation in An Aerobic Biofilm System

Alemzadeh, I. (Ph.D), Vosoughi, M. (Ph.D).Research Center for Biochemical and Environmental Engineering.

Abstract

Utilization of aromatic hydrocarbon, e.g. toluene in some industrial complexes result in the release of hazardous pollutant in the environment as surface water and soil in Iran. Toluene is produced in Isfahan and Bandar Imam petrochemical complex. The concentration of this component is about 5-6 mg/l in the effluent, and the waste containing benzene and toluene is not treated, but will be separated from the other effluents and is collected in the special storage tanks. Toluene has been characterized as the hazardous volatile organic compounds and must be treated before release into the environment. In this investigation, a modified rotating biological contactor (RBC), was conducted with the biomass growing on the surface of the discs. RBC system has various advantageous comparing to the other wastewater treatment systems such as fixed film and activated sludge. Effect of initial toluene concentration from 1-40 mg/l on toluene biodegradation was studied.

تصفیه فاضلاب‌های حاوی تولوئن توسط فیلم بیولوژیکی هوازی

ایران عالم‌زاده * منوچهر وثوقی **

چکیده

استفاده روزافزون از ترکیبات آروماتیک و به خصوص تولوئن در صنایع، حضور این گونه ترکیبات را در فاضلاب‌های صنعتی و به دنبال آن در آب‌های سطحی و خاک گسترش می‌دهد. در ایران نیز تولوئن در مجتمع پتروشیمی اصفهان و بندر امام تولید می‌گردد. غلظت آن در فاضلاب در حدود ۵ تا ۶ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. بخشی از فاضلاب‌ها که شامل تولوئن و بنزن می‌باشد، مورد تصفیه قرار نمی‌گیرد بلکه از سایر فاضلاب‌ها جدا شده و در مخازنی جمع‌آوری می‌گردند. با توجه به این که تولوئن در گروه آلاینده‌های درجهٔ اول، ترکیبات آلی فرار و ترکیبات سمی قرار دارد، ضرورت بررسی روش‌های تصفیه مناسب تولوئن و همچنین تأثیر حضور آن بر روی سیستم‌های تصفیه مشخص می‌گردد. در این پروژه فرایند تماس‌دهنده بیولوژیکی دوار (RBC) به دلیل داشتن مزایایی نسبت به سایر سیستم‌های با فیلم‌های ثابت و سیستم‌های لجن فعال مورد توجه قرار گرفته است. طی مراحل عملی پروژه اثر افزودن تولوئن به فاضلاب و افزایش غلظت آن از ۱ تا ۴۰ میلی‌گرم در لیتر بر روی عملکرد سیستم RBC، مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین سعی شده تا راندمان کلی حذف بیولوژیکی تولوئن در غلظت‌های متفاوت آن در سیستم RBC تعیین گردد.

مقدمه

تاکنون در ارتباط با تصفیه ترکیبات آروماتیکی با استفاده از روش‌های مختلف، تحقیقاتی صورت پذیرفته است که از میان آنها می‌توان استفاده از راکتورهای بیولوژیکی با فیلم ثابت، سیستم‌های بی‌هوازی، استفاده از گرانول کربن فعال در راکتورهای بیولوژیکی ناپیوسته و سیستم‌های شناورسازی را نام برد.

تولوئن عموماً به صورت عضوی از گروه BTEX (بنزن،

* - دانشیار مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی و کنترل محیط زیست

** - مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی و کنترل محیط زیست

تولوئن، اتیل بنزن و زایلن) و یا VOCs (ترکیبات آلی فرار) در پساب‌های صنعتی مورد توجه قرار می‌گیرد. در مخلوط BTEX تولوئن نسبت به سایر آروماتیک‌ها، توانایی بیشتری جهت تقویت راندمان کشت میکروبی دارد و به راحتی به صورت بیولوژیکی حذف می‌گردد.

حذف بیولوژیکی ترکیبات آروماتیکی تحت تأثیر فاکتورهای گوناگونی مانند غلظت آلاینده، غلظت توده سلولی، درجه حرارت، pH، قابلیت دسترسی مواد مغذی آلی، اثرات رقابتی و ممانعتی سایر مواد آروماتیکی قرار دارد [۹-۱].

یکی از روش‌های تصفیه با فیلم ثابت، سیستم RBC می‌باشد. این سیستم شامل صفحات مدوری از جنس پلی‌استایرن و یا پلی‌اتیلن است که روی یک محور افقی قرار گرفته و درون یک تانک می‌چرخند. بلافاصله بعد از شروع کار دستگاه، ارگانیسم‌هایی که به طور طبیعی در پساب حضور دارند بر روی سطوح گردان می‌چسبند و بعد از مدت زمانی که بستگی به عوامل متعددی مانند نوع خوراک و درجه حرارت محیط دارد، تمام سطح صفحات از یک لایه توده سلولی پوشیده می‌شود. صفحات به هنگام گردش، فیلمی از پساب را با خود به درون هوا حمل می‌کنند و بدین وسیله ارگانیسم‌ها، اکسیژن هوا را جذب و مواد آلی موجود در پساب را حذف می‌نمایند.

بخشی از مواد آلی پساب صرف تولید توده سلولی می‌شوند، بخشی از آنها از طریق میکروارگانیسم‌ها به دی اکسید کربن و آب تبدیل می‌گردند. مقداری از آن‌ها از روی سطح دیسک‌ها تبخیر شده و قسمتی نیز به همراه جریان خروجی از سیستم خارج می‌گردند. با توجه به جمعیت میکروبی موجود در این سیستم‌ها علیرغم زمان ماند نسبتاً کوتاه پساب، درجات بالایی از تصفیه قابل دستیابی می‌باشد [۵-۲].

تعدادی از ترکیبات آروماتیکی توانایی تحریک کردن و یا ممانعت کردن از حذف بیولوژیکی سایر ترکیبات آروماتیکی را دارند. به عنوان مثال مشاهده شده است که اگر تولوئن منبع تأمین کربن در یک نمونه پساب باشد، افزایش غلظت زایلن باعث کاهش حذف تولوئن می‌گردد. در واقع می‌توان فرض کرد که تولوئن و زایلن توسط یک آنزیم یکسان حذف می‌شوند و حضور بیش از اندازه یکی، باعث جلوگیری از حذف دیگری می‌گردد.

در مطالعه انجام شده بر روی تصفیه ده ترکیب آلی فرار (VOCs)[1] از پساب در دو سیستم بیولوژیکی با فیلم ثابت شامل صافی چکنده (TF)[2] و تماس دهنده بیولوژیکی دوار (RBC)[3]، درصد تبخیر مواد، حذف بیولوژیکی آنها و بخش باقیمانده در جریان خروجی تعیین گردیده است [۱ و ۲].

این نتایج نشان می‌دهد که تولوئن دارای بیشترین راندمان حذف بیولوژیکی نسبت به سایر مواد آلی فرار این گروه می‌باشد.

مطالعاتی نیز در ارتباط با سینتیک حذف تولوئن در سیستم‌های بیولوژیکی با فیلم ثابت انجام گرفته است. این مطالعات در مجموع سینتیک حذف تولوئن را در غلظت‌های کمتر از ۰/۱۴میلی‌گرم در لیتر از درجه اول و در غلظت‌های بالاتر از ۶ تا ۸میلی‌گرم در لیتر درجه صفر تعبین نموده‌اند [۷].

در این بررسی، تصفیه‌پذیری پساب حاوی تولوئن در یک سیستم تماس دهنده بیولوژیکی دوار (RBC) مطالعه و اثرات افزایش بار آلودگی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

جهت رشد فیلم بیولوژیکی روی سطح دیسک‌های دستگاه RBC از لجن استخر هوادهی یکی از تصفیه‌خانه‌ها استفاده شد.

در مرحله رشد فیلم، خوراک ورودی شامل ملاس چغندرقند و منابع فسفر و نیتروژن مطابق جدول ۱ می‌باشد.

پس از رشد فیلم و ادامه مطالعات، تولوئن به میزان ۴۰-۱میلی‌گرم در لیتر به خوراک ورودی اضافه گردید.

مشخصات سیستم RBC در مقیاس آزمایشگاهی که در این بررسی مورد استفاده قرار گرفته است در جدول ۲ و شکل ۱ مشاهده می‌شود.

با توجه به شکل ۱، مشاهده می‌شود که سیستم RBC از سه قسمت یا سه مرحله تشکیل شده است و تعداد دیسک‌ها در هر

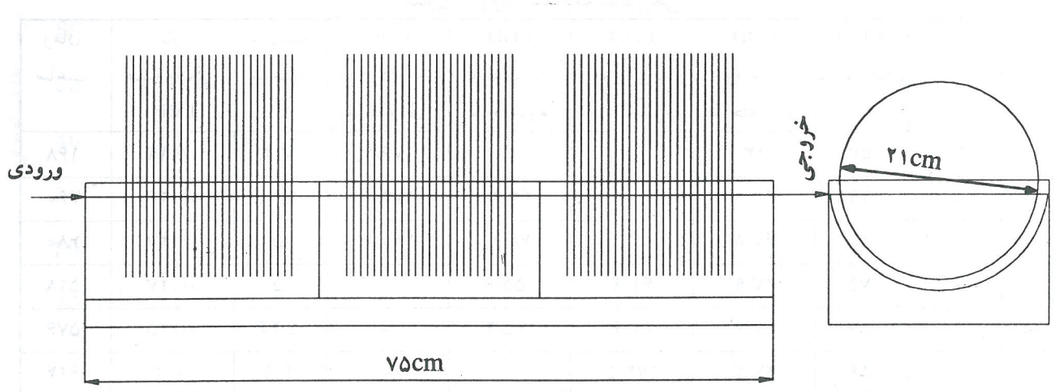
1- Volutie Organic Compunds
2- Trickling Filter
3- Rotating Biological Contractor

جدول ۱- ترکیب خوراک ورودی در رشد فیلم بیولوژیکی

مواد	مقدار (mg/lit)
ملاس چغندرقند	۱۳۰-۱۲۰۰
NH_4Cl	۷-۶۹
KH_2PO_4	۳-۳۴

جدول ۲- مشخصات سیستم RBC

	مقدار	واحد
تعداد مراحل	۳	مرحله
تعداد دیسک‌های هر مرحله	۲۴	عدد
قطر دیسک	۲۱	سانتی‌متر
ضخامت دیسک	۳	میلی‌متر
فاصله بین دو دیسک متوالی	۵	میلی‌متر
ارتفاعی از دیسک که در آب غوطه‌ور است	۷/۵	سانتی‌متر
سطح کل دیسک‌ها	۵/۱۳	مترمربع
حجم تانک	۰/۰۰۸۲	مترمکعب
سرعت دورانی	۱۵	دور در دقیقه
طول کل سیستم	۷۱	سانتی‌متر
عرض کل سیستم	۲۳	سانتی‌متر



شکل ۱- سیستم RBC

مرحله ۲۴ عدد می‌باشد.

آزمایشات انجام شده شامل اندازه گیری COD [۱۰]، pH توسط pH متر Metronm pH - Meter E۳۵۰ B و اندازه گیری تولوئن توسط دستگاه گاز کروماتوگراف[1] با استفاده از ستون دومتری با قطر $\frac{۱}{۸}$ اینچ OV-۱، انجام شد. میزان تولوئن در نمونه‌های خروجی از سیستم پس از انحلال در حلال هگزان و اندازه گیری توسط دستگاه گاز کروماتوگراف فوق مشخص گردید.

نتایج و بحث

برای رشد فیلم بیولوژیکی روی سطح دیسک‌ها از لجن استخر هوادهی یکی از تصفیه‌خانه استفاده شده است.

در مرحله رشد فیلم، خوراک ورودی شامل ملاس چغندر به عنوان منبع تأمین کربن و مواد مغذی دیگر مانند فسفر و نیتروژن می‌باشد. روند رشد لایه بیولوژیکی روی سطح دیسک‌ها به طور خلاصه در جدول ۳ ارائه گردیده است. میزان COD در مراحل مختلف دستگاه در زمان‌های معین اندازه گیری و راندمان حذف COD مشخص گردید.

همان طور که در جدول ۳ دیده می‌شود راندمان حذف بر اساس اندازه گیری‌های COD به ۹۱ درصد، رسیده است.

افزودن تولوئن به میزان یک میلی‌گرم در لیتر به خوراک ورودی آغاز می‌شود تا بعد از مطابقت یافتن سیستم با این نوع خوراک، میزان تولوئن به تدریج افزوده شده و اثرات این تغییر در سیستم مورد بررسی قرار گیرد. راندمان حذف COD به طور مداوم اندازه گیری شده که نتایج در جدول ۴ مشاهده می‌شود.

نتایج جدول ۴، حاکی از آن است که پس از افزودن تولوئن کاهش راندمان حذف COD به میزان حداکثر ۱۱٪ مشاهده و مجدداً راندمان حذف تولوئن افزایش یافته تا زمان حدود ۱۰ روز که زمان خوگرفتن میکروارگانیسم‌ها در سیستم به تولوئن می‌باشند. به تدریج میزان تولوئن ورودی به سیستم اضافه گردید، یعنی در هر مرحله از افزودن تولوئن با غلظت مشخص مدت ۷ تا ۹ روز زمان خوگرفتن ادامه یافته و میزان تولوئن در خروجی توسط دستگاه GC تعیین شد که نتایج در نمودار ۱، مشاهده می‌شود.

برای غلظت‌های تولوئن کمتر از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر به علت محسوس نبودن نتایج حاصله از اندازه گیری تولوئن در خروجی دستگاه RBC، از این نتایج صرفنظر و لذا، میزان

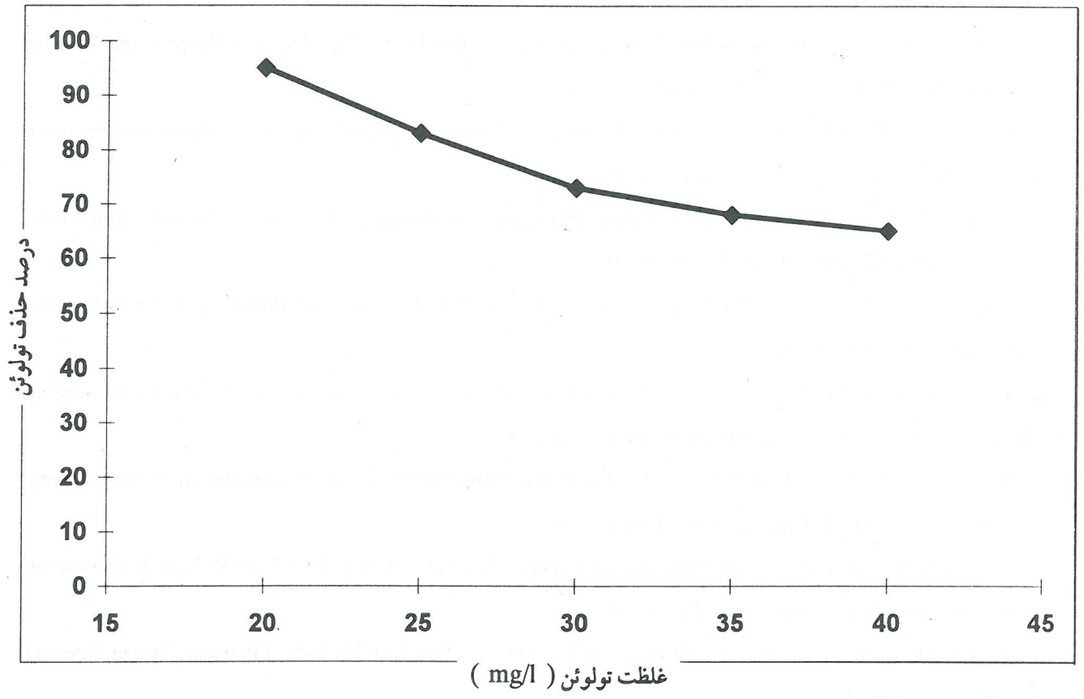
1- Hp ۵۷۵۰ Hewlett Packard Gas Chromatograph Equipped With Detector

جدول ۳- روند رشد فیلم بیولوژیکی

زمان ساعت	بار هیدرولیکی l/Min	زمان ماند ساعت	COD ورودی به مرحله‌اول	COD ورودی به مرحله‌دوم	COD ورودی به مرحله سوم	COD خروجی از مرحله سوم	COD درصدحذف	pH	°C دما
۱۶۸	۰/۰۱۹	۷/۲	۱۷۶/۷	–	–	۸۳	۵۳	۷	۱۰
۳۶۰	۰/۰۲۶	۵/۲۵	۱۷۳/۶	۴۳/۲	–	۳۷/۸	۷۹	۷	۱۴
۴۸۰	۰/۰۲۷	۵	۲۸۰/۶	۴۸/۸	–	۴۰/۸	۸۵	–	–
۵۲۸	۰/۰۲۷	۵	–	۱۵۵/۶	۴۱/۹	۳۷/۹	۷۵	۷	–
۵۷۶	۰/۰۲۵	۵/۴۶	–	۱۳۵/۴	۳۲/۶	۱۷/۶	۸۷	–	۲۲
۶۲۴	۰/۰۳	۴/۵	–	–	۱۷۲/۵	۲۷/۴	۸۴	–	–
۶۷۲	۰/۰۳	۴/۵	۳۰۱/۶	–	–	۲۵/۱	۹۱/۶	–	–
۷۹۲	۰/۰۳۴	۴	۳۱۰/۲	–	–	۳۴/۱	۸۹	۷	۲۰
۸۴۰	۰/۰۳۴	۴	۳۲۱/۵	۳۰/۴	–	۲۷/۳	۹۱/۴	۷	۱۹

جدول ۴- نتایج حاصل از دستگاه RBC پس از افزودن تولوئن به میزان ۱mg/lit

زمان پس از افزودن تولوئن (روز)	راندمان حذف (٪)
۰	۸۶/۶
۱	۸۴/۵
۲	۷۷
۳	۸۰/۱
۴	۸۲/۳
۵	۸۰/۸
۷	۸۴/۱
۸	۸۵/۹
۹	۸۷/۲
۱۰	۸۸/۳
۱۱	۸۸/۱



نمودار ۱- راندمان حذف تولوئن بر حسب غلظت آن در فاضلاب ورودی در سیستم

حذف تولوئن از غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر تا ۴۰ میلی‌گرم در لیتر در نتایج ارائه گردیده است.

همان طورکه در نمودار ۱، مشاهده می‌شود با افزایش غلظت تولوئن در خوراک ورودی، از میزان راندمان حذف آن کاسته شده است یعنی در غلظت‌های بالاتر از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر میزان حذف تولوئن با زمان ثابت است و لذا راندمان حذف آن کاهش یافته است و در این صورت در غلظت‌های بالا حذف تولوئن از درجه صفر می‌باشد که با نتایج مطالعات محققین دیگر مطابقت دارد [۴].

نتیجه گیری

این تحقیق نشان می‌دهد سیستم تماس دهنده بیولوژیکی دوار (RBC) راندمان بالایی در حذف تولوئن نسبت به سایر روش‌های تصفیه فاضلاب دارد.

در غلظت تولوئن ۱ppm در خوراک ورودی به سیستم RBC، زمان خوگرفتن سیستم در حدود ۹ روز می‌باشد و پس از آن راندمان حذف تولوئن تقریباً ثابت و در حدود ۸۸٪ است. افزودن غلظت تولوئن از ۲۰ تا ۳۰ppm در خوراک ورودی، راندمان حذف تولوئن کاهش می‌یابد.

منابع و مراجع

1- Muzaini, Al., Khordagui, M., and Hamouda, M.F. (1994). " *Removal of VOC from Refinery and Petrochemical Wastewater using Dissolved Air Flotation* ", Water Sci. and Technol., 30, 79-80.

2- Alvarez, P.J.J., and Vogel, T.M. (1991). " *Substrate Interaction of Benzene, Toluene and Paraxylene During Microbial Degradation by Pure Culture and Mixed Culture* ", Aqifer Slurries, Environmental Microbiology, 57, 10, 29, 2981-2985.

3- Alvarez, P.J.J., Anid, P.J. Vogel, T.M. (1991). " *Kinetics of Aerobic Biodegradation of Benzene and Toluene in Sandy Aquifer Material* ", Biodegradation, 2, 43-51.

4- Arcangli, J.P. and Arvin, E. (1994). " *Kinetics of Toluene Biodegradation in a Biofilm System under Denitrifying Conditions* ", Wat. Sci. and Technol. 29, 393-400.

5- Arcangli, J.P. and Arvin, E. (1992). " *Toluene Biodegradation and Biofilm Growth in Anearobic Fixed Film Reactor* ", Appl. Microbiol. Biotechnol, 37, 510-517.

6- Bouwer, E.J. Chen, C.T. and Li, Y.H. (1992). " *Transformation of a Petroleum Mixture in Biofilm* ", Wat. Sci. and Technol, 26, 637, 280-288.

7- Chozick, R. and lrvine, R.L. (1991). " *Preliminary Studies on the Granular Activated Carbon - Sequencing Bach Biofilm Reactor* ", Environmental Progress, 10, 282-289.

8- Taygi, R.D. (1991). " *Biological Treatment of Refinery Wastewater, In : Biological Degradation of Refinery Wastewater* ", Martin A.M., pp. 323-340, Elsevier, London.

9- Taygi, R.D. Tran, F.T. and Chowdhury, A.K.M. (1993). " *Biodegradation of Petroleum Refinery Wastewater in RBC with Polyurethan Foam* ", wat. Res. 27, 91-99.

10- Greenberg, A.E. Clesceri, L.S. and Eaton, A.D. (1992). " *Standard Methods: Chemical Oxygen Demand (COD)*", pp. 5-6-5-10.