

بررسی کارایی سیستم دیسک‌های بیولوژیکی چرخان در حذف آنیلین

سید حسین موسوی علیانی^۱ بیتا آیتی^۲ حسین گنجی دوست^۳

(دریافت ۸۸/۳/۳۰ پذیرش ۸۸/۱۱/۲۹)

چکیده

آنیلین یکی از ترکیبات حلقوی آمینی نوع اول است که در صنایع مختلفی مانند داروسازی، رنگ‌سازی، پلاستیک‌سازی و پتروشیمی کاربرد دارد. این ماده سمی بوده و تخلیه آن به محیط، آثار زیان‌باری در بر خواهد داشت. لذا استفاده از سیستم مناسب تصفیه، امری ضروری است. در این تحقیق به منظور بررسی کارایی سیستم RBC در حذف آنیلین از چهار سیستم موازی (دو مجموعه سری) به حجم هر یک ۳ لیتر استفاده شد. دو راکتور سری اول حاوی ۲۷ دیسک بودند اما در دو سیستم سری دوم، هر راکتور حاوی ۱۴ دیسک بود که با استفاده از آکنه‌هایی، سطح مخصوص آنها به مقدار کل سطح مخصوص دیسک‌های سیستم اول افزایش داده شد. دو سیستم تحت شرایط یکسان به مدت ۹ ماه راهبری شد و کارایی آنها مورد مطالعه قرار گرفت. به هر سیستم غلظت‌های مختلف آنیلین بین ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و بارهای هیدرولیکی متفاوت $1/57-6/28 \text{ L/m}^2 \cdot \text{day}$ اعمال و راندمان‌های حذف اندازه‌گیری شد. در انتها در بهترین راندمان حذف، اثر سرعت چرخش دیسک‌ها بر کارایی سیستم مورد بررسی قرار گرفت. راندمان حذف COD با افزایش بار هیدرولیکی کاهش و با افزایش سرعت دیسک‌ها افزایش یافت و با کاهش تعداد دیسک‌ها و افزایش سطح مخصوص آنها تغییر محسوسی در عملکرد سیستم ایجاد نشد. دو سیستم در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر آنیلین، تحت بار هیدرولیکی $1/57 \text{ L/m}^2 \cdot \text{day}$ و سرعت ۱۵ rpm، راندمان حذف قابل قبولی داشتند که برای سیستم‌های RBC_I و RBC_{II} به ترتیب برابر با ۸۸ و ۸۶ درصد بود. نتایج NMR، حاکی از شکسته شدن حلقه بنزنی و تبدیل آن به ترکیبات آلیفاتیک آلکنی بود. لذا راکتور RBC_{II} به‌عنوان یک فرایند تصفیه پیشرفته، قابلیت مناسبی در حذف بیولوژیکی ترکیب سخت تجزیه پذیر آنیلین تا غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر دارد.

واژه‌های کلیدی: RBC، سرعت چرخش دیسک، بار هیدرولیکی، COD، NMR.

Study of RBC Efficiency in Aniline Removal by Increasing Contactor Specific Surface

Seyed Hossein Mousavi Aliani¹

Bitaa Ayati²

Hossein Ganjidoust³

(Received June 20, 2009 Accepted Feb. 18, 2010)

Abstract

Aniline is a first type amino aromatic compound and has various applications in different pharmaceutical, synthetic dye, plastic, and petrochemical industries. It is poisonous and its discharge into the environment causes serious hazards that warrant its removal by an efficient treatment process. In this study, the efficiency of rotating biological contactors in aniline removal was investigated using four 3-liter parallel systems (in two series). Two reactors in the first series had 27 disks. The second series had 14 discs with packings in each reactor with the same specific surfaces as compared to the first system. Aniline concentrations from 100 to 1200 mg/L and hydraulic loading rates from 1.57 to 6.28 $\text{L/m}^2 \cdot \text{d}$ were used throughout the study period in two treatments. The effect of disc rotation speed on system efficiency was also investigated. The results indicated that COD removal efficiency decreased with increasing hydraulic loading rate but increased with increasing disc speed from 5 to 15 rpm. The best removal efficiencies of 88 and 86 percent for RBC_I and RBC_{II} , respectively, were obtained for an aniline concentration of 400 mg/L, a hydraulic loading rate of 1.57 $\text{L/m}^2 \cdot \text{d}$, and a disc speed of 15 rpm. Based on the results, although both systems yield almost equal efficiencies, the start-up period was shorter in RBC_{II} with a clearer effluent due to the lower quantity of suspended microorganisms in the reactor than that in RBC_I . Use of packing may decrease energy consumption for disc rotation due to the overall weight reduction of the system.

Keywords: RBC, Speed of the Discs, Hydraulic Loading, COD, NMR.

1. Grad. Student of Civil Eng. Dept., Tarbiat Modares University, Tehran
2. Assoc. Prof., Dept of Civil and Environmental Eng. Tarbiat Modares University, Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 82883328 ayati_bi@modares.ac.ir
3. Prof., Dept of Civil and Environmental Eng. Tarbiat Modares University, Tehran

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- ۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران (نویسنده مسئول) ۸۲۸۸۳۳۲۸ (+۲۱) ayati_bi@modares.ac.ir
- ۳- استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

بررسی تجزیه بیولوژیکی فنل در سیستم RBC توسط ایسرانی و همکاران^۴ انجام شد، عوامل مؤثری مانند سرعت چرخش دیسک‌ها، بار فنل ورودی به سیستم و بار هیدرولیکی ورودی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج تحقیقات نشان داد که در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر فنل و بار هیدرولیکی ۲ لیتر در ساعت، با افزایش سرعت چرخش دیسک‌ها از ۴۰ به ۱۷۵ دور در دقیقه، میزان حذف فنل از ۴۰ به ۱۴۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت [۳].

آنیلین یکی از ساده‌ترین ترکیبات آروماتیک آمینی است که دارای یک حلقه بنزنی با یک پیوند NH_2 است و با نام‌های بنزنوآمین، فنیل بنزن و آمینوبنزن نیز شناخته می‌شود. این ترکیب سمی بوده و در صنایع مختلفی از جمله داروسازی، رنگ‌سازی، پلاستیک‌سازی و پتروشیمی کاربرد دارد. تولید سالانه آنیلین در آمریکا حدود ۸۰۰۰۰ تن و در چین ۴۷۵۰۰۰ تن است [۱۱ و ۱۲]. در کشورهایمانند کانادا که آنیلین تولید نمی‌شود، برای تأمین نیاز صنعت، این ماده از کشورهای دیگر وارد می‌شود [۱۳]. در ایران نیز با توجه به عدم تولید آنیلین، میانگین واردات سالانه این ماده به داخل کشور ۳۸ تن است [۱۴]. آنیلین به میزان ۳/۵ درصد در آب حل شده و این قابلیت حل شدن، احتمال حضور آلودگی آن را در آب افزایش می‌دهد. روشهایی که تاکنون برای تصفیه آنیلین مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارت‌اند از تجزیه در آب فوق بحرانی، غشاهای آبی آمولوسیونی، روش الکتروفتون^۵ و فرایند انعقاد [۱۵]. با توجه به هزینه‌های زیاد روشهای مذکور، توجه محققان به سیستم‌های بیولوژیکی معطوف شده است که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌شود.

تورانگ و همکاران^۶ قابلیت تجزیه بیولوژیکی آنیلین موجود در آب رودخانه را این^۷ را گزارش نموده‌اند [۱۶]. در تحقیقات وانگ و همکاران^۸ گونه‌ای از باکتری‌هایی که قابلیت تجزیه آنیلین و مشتقات آن را داشتند، شناخته شدند و شرایط بهینه برای فعالیت این میکروارگانیسم‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در بهترین شرایط برای تجزیه مخلوط آنیلین و پنتیل آمین که غلظت آلاینده‌ها به ترتیب ۲۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، دمای راکتور ۳۰ درجه سلسیوس، $pH=7$ ، زمان ماند ۲۴ ساعت و بیشترین غلظت اکسیژن محلول به میزان $6 \text{ mgO}_2/\text{L}$ بود، میزان حذف آنیلین ۸۹ درصد و میزان حذف پنتیل آمین ۹۳ درصد به دست آمد [۱۵]. در تحقیقی که توسط دلنواز و همکاران انجام شد کارایی سیستم MBBR در حذف آنیلین مورد بررسی قرار گرفت. در

یک سیستم دیسک‌های بیولوژیکی چرخان (RBC)^۱ به‌طور معمول حاوی تعدادی دیسک صاف یا شیاردار به فاصله نزدیک به هم است که بر روی یک شفت افقی قرار گرفته و می‌چرخند. اولین بار این سیستم از جنس تخته‌های چوبی توسط ویگان^۲ در اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی برای تصفیه فاضلاب مورد استفاده قرار گرفت [۱]. تغییرات عمده در شکل‌بندی سیستم و جنس دیسک‌ها پس از مقبولیت استفاده از پلی‌استیرن در دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ صورت پذیرفت [۲].

در اثر چرخش دیسک‌ها بخشی از آنها داخل فاضلاب فرو رفته و مابقی در تماس با هوا قرار می‌گیرند. فرایند انتقال اکسیژن و واکنش بیولوژیکی طی چهار مرحله اتفاق می‌افتد [۳]:

۱- اکسیژن موجود در هوا به داخل لایه مرطوب که در تماس با هوا قرار گرفته انتقال می‌یابد؛

۲- اکسیژن انتقال یافته در لایه مرطوب پخش می‌گردد؛

۳- اکسیژن پخش شده در لایه مرطوب به داخل لایه بیوفیلمی که محل مصرف مواد آلی است، نفوذ یافته و مصرف می‌گردد؛

۴- در اثر چرخش، قسمتی که در تماس با هوا قرار داشته و مواد آلی آن مصرف شده وارد فاضلاب می‌شود و مواد آلی موجود در فاضلاب دوباره به داخل لایه بیوفیلمی نفوذ می‌یابد.

در حین این عمل لایه بیوفیلمی بر روی دیسک‌ها تشکیل شده و عمل تصفیه انجام می‌پذیرد.

کارایی سیستم RBC تحت تأثیر عواملی مانند بار آلی، بار هیدرولیکی، دما، سرعت چرخش و درصد غرق شدگی دیسک‌ها است [۴]. این سیستم با توجه مزایای زیاد از جمله غلظت زیاد لجن در واحد حجم راکتور، پایین بودن شاخص حجمی لجن در زلال‌ساز، عدم نیاز به بازگشت لجن و مقاومت در برابر شوک هیدرولیکی و مواد سمی، در تصفیه فاضلابهای مختلفی مانند پساب خروجی کارخانه تولید روغن نخل^۳، صنایع غذایی، نوشابه‌سازی و نیز شیرابه مرکز دفن زباله مورد استفاده قرار گرفته است [۵-۸]. علاوه بر موارد مذکور، تحقیقات متعددی در مورد تجزیه بیولوژیکی ترکیبات حلقوی مانند فنل و تولوئن انجام شده است که نتایج آزمایش‌ها، تجزیه بیولوژیکی این ترکیبات را اثبات نموده‌اند [۳، ۹ و ۱۰].

در تحقیقی که در سال ۲۰۰۱ توسط عالم‌زاده و وثوقی انجام شد بالاترین راندمان حذف تولوئن در سیستم RBC ۸۸/۳ درصد گزارش شد [۹]. در تحقیق دیگری که در سال ۲۰۰۲ به‌منظور

⁴ Israni et al.

⁵ Electro-Fenton

⁶ Torang et al.

⁷ Rhine

⁸ Wang et al.

¹ Rotating Biological Contactor

² Weigand

³ Palm Oil Mill

تحقیق مذکور در شرایطی که COD برابر ۲۰۰۰ گرم در لیتر و زمان ماند ۴۸ ساعت بود، راندمان حذف ۹۰ درصد به دست آمد [۱۷].

با توجه به اینکه تاکنون تحقیقی در مورد حذف آلاینده آنیلین در سیستم RBC انجام نشده است، در این تحقیق ضمن بررسی این موضوع، به تأثیر پارامترهای بار هیدرولیکی، بار آلی و سرعت چرخش دیسک‌ها بر راندمان حذف آلاینده پرداخته شد.

۲- مواد و روشها

در این تحقیق از چهار سیستم موازی (دو مجموعه سری) به حجم هر یک ۳ لیتر استفاده شد (جدول ۱). دو راکتور سری اول (RBC I) حاوی ۲۷ دیسک بودند اما در دو سیستم سری دوم (RBC II)، هر راکتور حاوی ۱۴ دیسک بود (شکل ۱- الف و ۱- ب) سطح مخصوص دیسک‌های سیستم سری دوم با استفاده از آکنه‌های Bee-cell 2000 ساخت شرکت سانکو کشور آلمان به مقدار کل سطح مخصوص دیسک‌های سیستم اول افزایش داده شد (شکل ۱- ج) (جدول ۲). دیسک‌ها از جنس پلی‌استیرن فشرده به ضخامت ۳ میلی‌متر بود که حرکت آنها توسط پولی و تسمه از یک موتور انجام می‌شد. فاضلاب سنتزی توسط یک پمپ پرېستالتیک با قابلیت تنظیم دبی از یک منبع وارد سیستم می‌گردید.

به منظور راه‌اندازی سیستم‌ها و انجام مرحله سازگاری میکروارگانسیم‌ها، ۱۲ لیتر از جریان لجن برگشتی حوض ته‌نشینی ثانویه تصفیه‌خانه شهرک اکباتان تهران به آزمایشگاه منتقل شد. پس از تزریق (MLSS=۳۰۰۰ mg/L)، سیستم به صورت ناپیوسته به مدت یک‌ماه با گلوکز راهبری شد. بعد از این مرحله به تدریج از غلظت گلوکز کاسته و به غلظت آنیلین اضافه شد به طوری که بعد از ۴۰ روز، گلوکز کاملاً از خوراک حذف و فقط آنیلین با غلظت COD/L ۱۰۰ mg به سیستم تزریق شد.

به منظور بررسی اثر غلظت آنیلین بر راندمان حذف سیستم‌ها در بار هیدرولیکی ورودی ۱/۵۷ لیتر بر متر مربع در روز، غلظت آنیلین از مقدار ۱۰۰ به ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش داده شد. نکته قابل ذکر اینکه هر مرحله افزایش بار، پس از مشاهده ۳ دوره راندمان ثابت صورت می‌گرفت. سپس به منظور بررسی اثر بار هیدرولیکی، با ثابت نگاه داشتن سرعت چرخش دیسک‌ها، در غلظت بهینه آلاینده، بارهای هیدرولیکی متفاوت به سیستم اعمال شد. در مرحله بعد، اثر سرعت چرخش دیسک‌ها بر راندمان حذف سیستم‌ها، تحت بار هیدرولیکی و غلظت آلاینده ثابت با افزایش

سرعت از ۵ به ۱۵ دور در دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی قابلیت شوک‌پذیری سیستم، زمانی که سیستم‌ها تحت غلظت آنیلین به میزان ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، زمان ماند ۴۸ ساعت و سرعت چرخش ۵ دور در دقیقه دارای راندمان ثابت بودند به یکباره غلظت آنیلین در خوراک ورودی به ۲ برابر افزایش یافت و پس از ۴۸ ساعت به مقدار اولیه برگردانده شد و نحوه بازگشت سیستم به شرایط قبلی مورد بررسی قرار گرفت. در انتها برای بررسی و اطمینان از نحوه عملکرد بیوراکتورها در تجزیه بیولوژیکی آنیلین و شکسته شدن حلقه بنزنی این ترکیب، اقدام به انجام آزمایش NMR بر روی نمونه‌های ورودی و خروجی از راکتورها گردید.

لازم به ذکر است که برای تطابق میکروارگانسیم‌ها با شرایط جدید پس از هر تغییر، سیستم‌ها به مدت حداقل یک هفته راهبری شده و سپس آزمایش‌ها تا رسیدن به عملکرد ثابت در راکتورها تکرار شد.

جدول ۱- مشخصات پایلوت استفاده شده در تحقیق

عنوان	RBC _I	RBC _{II}
تعداد راکتور (عدد)	۲	۲
فاصله بین دیسک‌ها (میلی‌متر)	۶	۱۲
تعداد دیسک‌ها در هر راکتور (عدد)	۲۷	۱۴
سطح مفید دیسک‌ها در هر راکتور (سانتی‌متر مربع)	۹۵۴۰	۴۹۴۵
سطح مخصوص آکنه افزوده شده (سانتی‌متر مربع)	بدون آکنه	۴۵۹۵
سطح مخصوص کل در هر راکتور (سانتی‌متر مربع)	۹۵۴۰	۹۵۴۰
سرعت چرخش (دور در دقیقه)	۱۵-۵	۱۵-۵
میزان غرق شدگی (درصد)	۴۰	۴۰

جدول ۲- مشخصات فنی آکنه‌های مورد استفاده

پارامتر	میزان
جنس	پلی‌استیرن فشرده
دانسیته (Kg/m ³)	۱۰۳۰
سطح مخصوص (cm ² /cm ³)	۱۸
تعداد در هر متر مکعب	۳۶۱۰۰۰
سطح مخصوص (m ² /m ³)	۶۵۰
حداکثر وزن (Kg/m ³)	۱۴۰
میزان فضای خالی (درصد)	۸۷
تنش کششی (MPa)	۲۴
مدول الاستیسیته (MPa)	۱۸۰۰

¹ Sanco



ج) آکنه‌های مورد استفاده



ب) RBCII (دیسک و آکنه)



الف) RBCI (دیسک بدون آکنه)

شکل ۱- تصویر پایلوت‌های مورد استفاده در تحقیق

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی اثر غلظت آنیلین بر راندمان حذف سیستم‌ها در شکل ۲ میزان حذف آنیلین در دو سیستم مقایسه شده است. طبق نتایج حاصل، عملکرد کلی دو سیستم به هنگام افزایش غلظت آلاینده مشابه بود به این معنی که در هر دو سیستم با افزایش غلظت آنیلین، کاهش راندمان حذف COD مشاهده شد. در سیستم RBCI با افزایش غلظت آنیلین از مقدار ۱۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف با شیب بسیار کمی از راندمان ۸۴ درصد در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ۸۰ درصد در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر رسید. با افزایش غلظت آنیلین از مقدار ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، شیب نزولی نمودار راندمان حذف، افزایش یافت به طوری که راندمان حذف در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر با ۹ درصد کاهش برابر با ۷۱ درصد و در غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر برابر ۶۰ درصد بود. با افزایش غلظت آنیلین روند نزولی کاهش راندمان حذف COD ادامه داشت به نحوی که در محدوده غلظتهای ۱۰۰، ۱۱۰۰، و ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان‌های حذف به ترتیب ۳۷، ۴۰ و ۲۸ درصد به دست آمد. در سیستم RBCII نیز در غلظتهای اولیه، کاهش راندمان حذف تا غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر آنیلین در خوراک ورودی، روند کاهشی ملایمی داشت اما با افزایش غلظت آلاینده، کاهش راندمان حذف با روند کاهشی تندتری نسبت به مرحله قبل ادامه یافت. راندمان حذف در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر برابر با ۸۵ درصد بود و با افزایش غلظت به مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ۷۸ درصد رسید. با دقت در شکل ۲ ملاحظه می‌شود که راندمان حذف دو سیستم در غلظتهای مختلف مشابه هم است.

۳-۲- بررسی نتایج حاصل از بارهای هیدرولیکی مختلف به سیستم‌ها

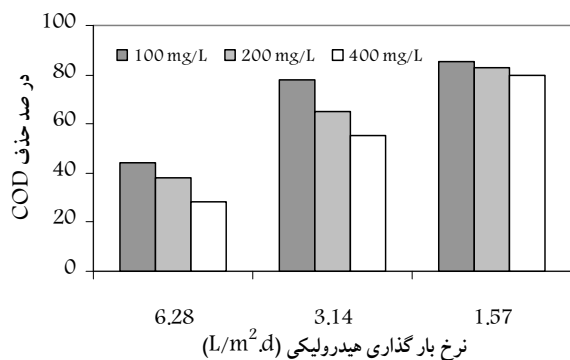
نتایج حاصل از اثر بار هیدرولیکی بر کارایی سیستم‌ها در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که در هر دو سیستم، بیشترین راندمان حذف COD تحت بار هیدرولیکی

در طی دوره تحقیق، برای کنترل واکنش‌های بیولوژیکی در شرایط هوازی و فراهم کردن محیط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها، روزانه پارامترهای pH در محدوده ۶/۵-۷/۲ و اکسیژن محلول در محدوده ۲-۳/۵ میلی‌گرم در لیتر کنترل می‌گردید. مواد مغذی مورد نیاز (اوره به عنوان منبع نیتروژن و مخلوط K_2HPO_4 و KH_2PO_4 به عنوان منبع فسفر) برای تنظیم نسبت ۱:۵:۱۰۰ = C:N:P و میکرونوترینت‌ها شامل $FeCl_3$ (۲۰ mg/L)، $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (۲/۵ mg/L)، $MnSO_4 \cdot H_2O$ (۱/۹ mg/L) نیز به سیستم تزریق می‌شد. کلیه آزمایش‌های انجام شده، براساس کتاب روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب و تکرار هر آزمایش سه بار بوده است [۱۸].

تجهیزات و دستگاه‌های آزمایشگاهی مورد استفاده در طی مراحل آزمایش‌ها به شرح زیر بود:

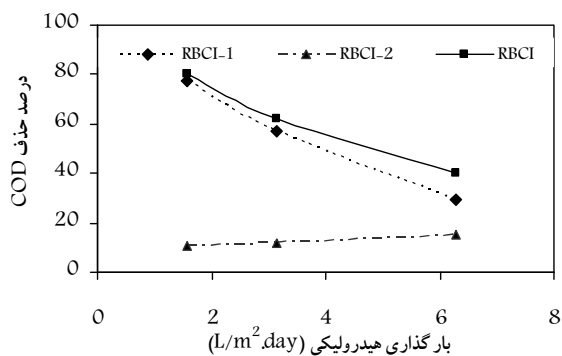
- COD راکتور هج^۱ با ۱۶ جالوله‌ای به منظور اندازه‌گیری COD به روش آمپول
- اسپکتروفتومتر ساخت شرکت پرفکین المرد^۲ مدل لامبدا^۳ برای تعیین میزان جذب و COD
- پمپ پرستالتیک ساخت شرکت هایدولف^۴ مدل PD5001
- pH متر ساخت شرکت مترام^۵ با الکتروود دیجیتالی
- DO متر ساخت شرکت کرایسون^۶ مدل OXI 45
- سانتریفوژ ساخت شرکت سیگما^۷ به منظور جداسازی ذرات معلق و کلونیدی از محلول
- طیف سنج NMR500 از نوع بروکر^۸ AC-500MHZ

1 Hach
2 Perkin Elmer
3 Lambda
4 Heidolph
5 Metrohm
6 Crison
7 Sigma
8 Bruker

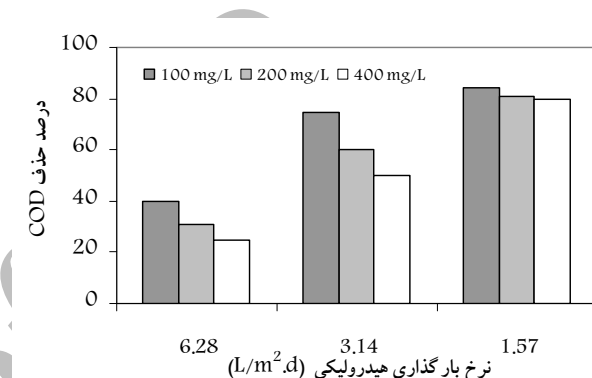


شکل ۴- اثر بار هیدرولیکی بر راندمان حذف COD در سیستم RBC_{II}. rpm=۵

همانطور که در شکل‌های ۵ تا ۷ ارائه شده است، گرچه با کاهش بار هیدرولیکی و افزایش زمان ماند، راندمان کلی سیستم بیشتر شد ولی راندمان راکتور دوم کاهش یافت. دلیل این پدیده افزایش زمان ماند در راکتور اول و حذف عمده آلاینده در این راکتور بوده است.

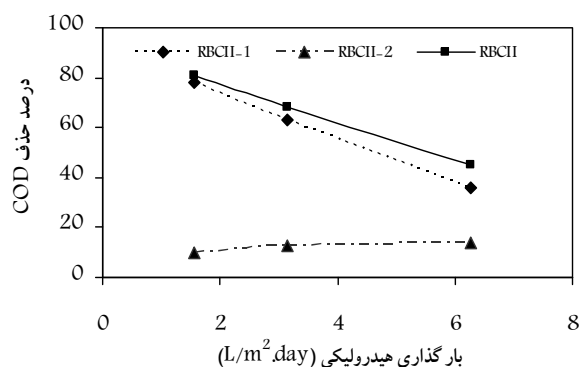


شکل ۳- اثر بار هیدرولیکی بر راندمان حذف COD در سیستم RBC_I. rpm=۵



شکل ۲- مقایسه راندمان حذف COD در دو سیستم RBC_I و RBC_{II}. HLR= ۱/۵۷ L/m².day. rpm=۵

شکل ۵- اثر بار هیدرولیکی بر راندمان حذف راکتورهای RBC_I با غلظت ۱۰۰ mg/L آنتیلین

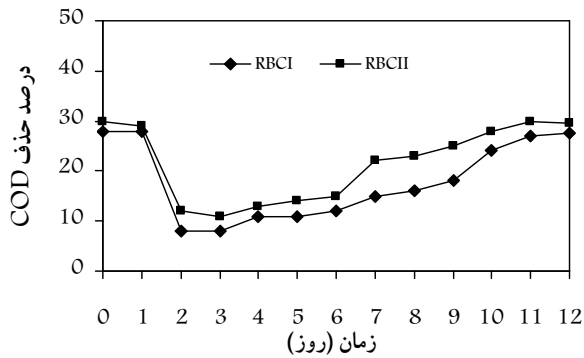


شکل ۶- اثر بار هیدرولیکی بر راندمان حذف راکتورهای RBC_I با غلظت ۲۰۰ mg/L آنتیلین

راندمان راکتور دوم تحت بار هیدرولیکی ۶/۲۸ L/m².day در غلظتهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب ۱۲، ۱۵ و ۱۰ درصد بود که با کاهش بار هیدرولیکی به مقدار

۱/۵۷ L/m².day بوده که مقدار آن برای غلظتهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر در سیستم RBC_I به ترتیب برابر با ۸۱، ۸۴ و ۸۰ درصد و در سیستم RBC_{II} برابر ۸۳، ۸۵ و ۸۰ درصد بود. طبق نتایج، افزایش بار هیدرولیکی از ۱/۵۷ L/m².day به ۳/۱۴ L/m².day باعث کاهش راندمان حذف در غلظتهای مذکور شد. راندمان‌های حذف به دست آمده در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با ۸ درصد، ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر با ۶ درصد و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر با ۲۴ درصد تغییر در سیستم RBC_{II} و در غلظتهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر با ۸ درصد و ۱۳ درصد تغییر در سیستم RBC_I همراه بود. بیشترین تفاوت در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اتفاق افتاد و راندمان حذف با ۳۱ درصد تغییر برابر ۴۹ درصد گردید. با ادامه روند افزایش بار هیدرولیکی به مقدار ۶/۲۸ L/m².day، کاهش شدید کارایی سیستم اتفاق افتاد به طوری که در غلظتهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف به ترتیب ۴۰، ۳۱ و ۲۵ درصد به دست آمد. کاهش راندمان حذف COD در سیستم، با زمان ماند ۱۲ ساعت بیانگر عدم کارایی قابل قبول سیستم RBC در حذف آنتیلین با زمان ماندهای کم است.

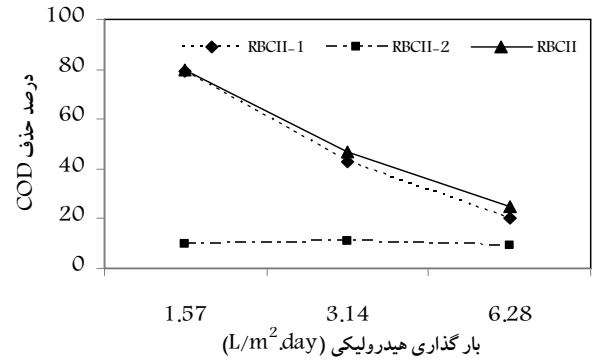
سیستم‌ها در انتهای روز دوم پس از اعمال شوک انجام شد، کاهش ۲۰ درصدی در سیستم RBC_I و ۱۷ درصدی در سیستم RBC_{II} مشاهده گردید (شکل ۹). پس از گذشت ۱۲ روز، راندمان سیستم RBC_I و RBC_{II} به ترتیب برابر با ۲۷ و ۲۹ درصد شد و سیستم به حالت قبل بازگشت. در این مرحله نیز سیستم RBC_{II} به دلیل رشد سریع تر میکروارگانیسم‌ها بر روی سطح دیسک‌ها و آکنه‌ها، عملکرد بهتری نسبت به سیستم RBC_I در روزهای ششم تا دهم داشت.



شکل ۹- چگونگی تغییرات راندمان حذف COD پس از اعمال شوک rpm=5

۳-۵- بررسی تجزیه بیولوژیکی آنیلین به وسیله آزمایش NMR با بررسی نتایج طیف نمونه‌های ورودی و خروجی از راکتورها می‌توان به تغییرات صورت گرفته در ساختار مولکولی این ترکیب پی برد. در این مرحله با استفاده از طیف خروجی و نرم افزار Chem Office ۲۰۰۶، نوع ترکیبات خروجی حدس زده شد. با توجه به محدوده جذب بالای پنج برای ترکیبات آروماتیک و زیر پنج برای ترکیبات آلیفاتیک از شکلهای ۱۰-الف و ۱۰-ب مشخص است که خروجی از راکتورها، ترکیبی از مواد آلی است که حلقه بنزنی آن شکسته و ترکیبات آروماتیکی به ترکیبات آلیفاتیک آلکنی تبدیل شده است.

بررسی‌های انجام شده نشان داد که سیستم RBC در تصفیه فاضلابهای حاوی آنیلین تا غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف قابل قبولی دارد به طوری که بالاترین راندمان در سیستم‌های RBC_I و RBC_{II} تحت بار هیدرولیکی $1/57 L/m^2 \cdot day$ و سرعت چرخش ۱۵ دور در دقیقه دیسک‌ها به ترتیب معادل ۸۸ و ۸۶ درصد بود که با افزایش غلظت آلاینده به ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف به کمتر از ۳۰ درصد رسید. این در حالی است که سیستم MBBR در حذف آنیلین با غلظت COD معادل ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و زمان ماند ۴۸ ساعت دارای راندمان برابر ۹۰ درصد بود. در سیستم لجن فعال نیز راندمان حذف آنیلین با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و زمان ماند ۲۴ ساعت برابر ۸۹ درصد گزارش شده است [۱۷، ۱۹].

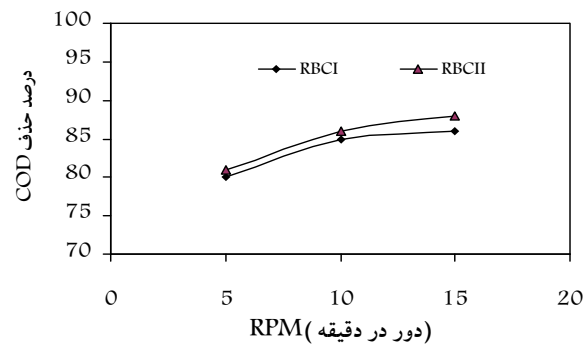


شکل ۷- اثر بار هیدرولیکی بر راندمان حذف راکتورهای RBC_I با غلظت $400 mg/L$ آنیلین

۱/۵۷ $L/m^2 \cdot day$ ، راندمان راکتور دوم نیز در غلظتهای مذکور به ترتیب ۶، ۷ و ۱۲ درصد شد.

۳-۳- نتایج حاصل از تغییر سرعت چرخش دیسک‌ها سرعت چرخش دیسک‌ها تحت بار هیدرولیکی $1/57 L/m^2 \cdot day$ و غلظت آلاینده ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، از ۵ به ۱۵ دور در دقیقه افزایش داده شد (شکل ۸). با توجه به شکل ۸ ملاحظه می‌شود که راندمان حذف COD در سیستم RBC_I از مقدار ۸۰ درصد با سرعت ۵ دور در دقیقه به مقدار ۸۶ درصد با سرعت ۱۵ دور در دقیقه افزایش یافته است. همچنین در RBC_{II} نیز راندمان حذف به مقدار ۸۸ درصد رسید.

با افزایش سرعت از مقدار ۱۰ به ۱۵ دور در دقیقه، راندمان حذف در سیستم RBC_I ، ۱ درصد و در سیستم RBC_{II} ، ۲ درصد افزایش داشت. لذا به منظور کاهش مصرف انرژی می‌توان سرعت بهینه را برابر ۱۰ دور در دقیقه در نظر گرفت.



شکل ۸- تأثیر سرعت چرخش دیسک‌ها بر راندمان حذف، $HL = 1/57 L/m^2 \cdot day$

۳-۴- بررسی اثر شوک تغییر غلظت با افزایش غلظت آنیلین از مقدار ۱۲۰۰ به ۲۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، در اولین نمونه‌برداری که با توجه به زمان ماند ۴۸ ساعت در

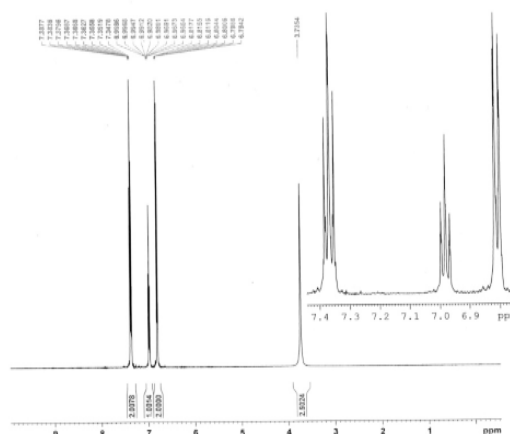
با کاهش بارهیدرولیکی ورودی به سیستم‌ها و به عبارت دیگر با افزایش زمان ماند در سیستم‌ها، راندمان حذف افزایش یافت. با توجه به اینکه با افزایش زمان ماند در سیستم‌ها، راندمان حذف راکتور دوم درصد کمی از راندمان کل سیستم بود، بنابراین در زمان ماندهای ۴۸ و ۷۲ ساعت می‌توان از سیستم RBC تک مرحله‌ای استفاده نمود ولی با زمان ماند ۲۴ ساعت، حداقل دو مرحله لازم است. سیستم RBC با زمان ماند ۱۲ ساعت، راندمان حذف قابل قبولی نداشت و این نشان از عدم توانایی سیستم RBC در حذف آنیلین با زمان ماندهای کمتر از ۲۴ ساعت دارد.

افزایش سرعت چرخش دیسک‌ها در سیستم‌ها باعث افزایش راندمان حذف گردید ولی از آنجا که سرعت چرخش دیسک‌ها ارتباط مستقیم با انرژی مصرفی در سیستم دارد، بنا بر نتایج به دست آمده با افزایش سرعت از مقدار ۱۰ دور در دقیقه به ۱۵ دور در دقیقه راندمان حذف در سیستم RBC_I، ۱ درصد و در سیستم RBC_{II}، ۲ درصد افزایش داشت که می‌توان سرعت بهینه را برابر ۱۰ دور در دقیقه در نظر گرفت.

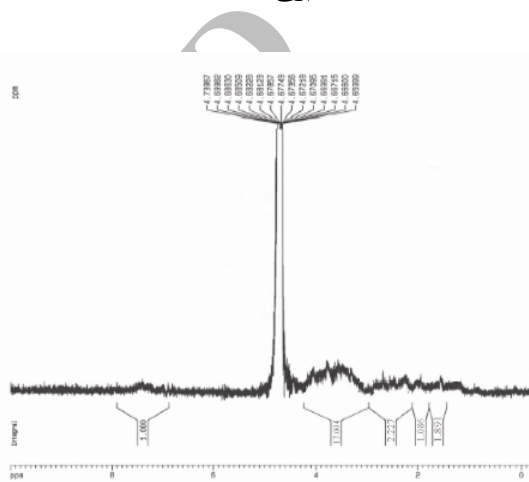
نتایج آزمایش NMR بر روی نمونه‌های ورودی و خروجی از راکتورها نشان داد که خروجی از راکتور ترکیبی از مواد آلی است که حلقه بنزنی آنها شکسته است.

۴- نتیجه‌گیری

با استفاده از فرایند RBC و با رعایت شرایط بهره‌برداری فرایندهای بیولوژیکی می‌توان به نحو مناسبی اقدام به حذف ترکیب سخت تجزیه‌پذیر آنیلین تا غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر از فاضلاب نمود.



الف



ب

شکل ۱۰- طیف (الف) ورودی و (ب) خروجی از راکتورها توسط دستگاه NMR

۵- مراجع

- 1- Mathure, P., and Patwardhan, A.W. (2005) "Comparison of mass transfer efficiency in horizontal rotating packed beds and rotating biological contactors." *J. Chem Technol Biotechnol*, 80, 413-419.
- 2- Grady CPL, Jr., Daigger, G. T., and Lim, H. C. (1999). "Rotating biological contactor." In: Grady CPL Jr, Daigger GT, Lim HC (Eds.) *Biological wastewater treatment*, Marcel Dekker, New York.
- 3- Israni, S.H.I., Koli, S.S., Patwardhan, A.W., Melo, J.S., and D'souza, S.F. (2002) "Phenol degradation in rotational biological contactors." *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 77, 1050-1057.
- 4- Cortez, S., Teixeira, P., Oliveira, R., and Mota, M. (2008). "Rotating biological contactors: A review on main factors affecting performance." *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 7, 155-172.
- 5- Najafpour, G., Yieng, H., Younesi H., and Zinatizadeh, A. (2005). "Effect of organic loading on performance of rotating biological contactors using palm oil mill effluents." *Process Biochemistry*, 40, 2879-2884.
- 6- Nasr, F.A., Badr, N. M., and Doma, H. S. (2006). "Flavor industry wastewater management case study." *Environmentalist*, 26, 31-39.
- 7- Malandra, L., Wolfaardt, G., Zietsman, A., and Viljoen-Bloom, M. (2003). "Microbiology of a biological

- contactor for winery wastewater treatment.” *Water Res.*, 37, 4125-4134.
- 8- Castillo, E., Vergara, M., and Moreno, Y. (2007). “Landfill leachate treatment using a rotating biological contactor and an upward-flow anaerobic sludge bed reactor.” *Waste Management*, 27, 720-726.
 - 9- Alemzadeh, I., and Vossoughi, M. (2001). “Biodegradation of toluene by an attached biofilm in a rotating biological contactor.” *Process Biochem.*, 36,707-711.
 - 10- Banerjee, G. (1997). “Treatment of phenolic wastewater in RBC reactor.” *Water Res.*, 31, 705-714.
 - 11- Qi, X. H., Zhuang, Y. Y., Yuan, Y. C., and Gu, W. X. (2002). “Decomposition of aniline in Supercritical water.” *J. of Hazardous Materials*, 90(14), 51-62.
 - 12- O'Neill, F. J., Bromley-Challenork, K. C. A., Greenwood, R. J., and Knapp, J. S. (2000). “Bacterial growth on aniline: Implication for the bio treatment of industrial wastewater.” *Water Research*, 34(18), 4397-4409.
 - 13- Camford Information Services. (1990). *Chemical process industry product profile on aniline*, CIS, Don Mills.
 - 14- Deputy for Planning and Economic Affairs, Min. (2008). *Commerce department statistics order*, Trade Promotion organization of Iran. (In Persian)
 - 15- Wang, L., Barrington, S., and Kim, J.W. (2006). “Biodegradation of pentyl amine and aniline from petrochemical wastewater.” *J. of Environ. Management*, 83 (2) 191-197.
 - 16-Toräng, L., Reuschenbach, P., Müller, B., and Nyholm, N. (2002). “Laboratory shake flask batch tests can predict field biodegradation of aniline in the rhine.” *Chemosphere*, 49 (10), 1257-1265.
 - 17- Delnavaz, M., Ayati, B., and Ganjidoust, H. (2008) “Biodegradation of aromatic amine compounds using moving bed biofilm reactors.” *Iranian J. of Environ. Health Sci. Eng.*, 5, 243-250.
 - 18- APHA.AWWA.WEF. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 19th Ed., Washington DC, USA.
 - 19- Delnavaz, M., Ayati, B., and Ganjidoust, H. (2009). “Treatment of wastewater containing aniline using a moving bed biofilm reactor (MBBR).” *J. of Water and Wastewater*, 68, 9-18. (In Persian)