

# مقایسه سیستم‌های RBC متداول و سبد محتوی آکنه در تصفیه فاضلاب محتوی هیدروکینون

فرید خلیل آریا<sup>۱</sup>، بیبا آیتی<sup>۲\*</sup>، حسین گنجی دوست<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران (محیط زیست) دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار مهندسی عمران (محیط زیست) دانشگاه تربیت مدرس

۳- استاد مهندسی عمران (محیط زیست) دانشگاه تربیت مدرس

ayati\_bi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۲/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۳/۱۸

**چکیده** - هیدروکینون یکی از مهم‌ترین ترکیبات فنلی دارای کاربرد گسترده در صنایع مختلف از قبیل لاستیک‌سازی، عکاسی، آرایشی و بهداشتی و تولید آنتی‌اکسیدان‌ها می‌باشد. به دلیل سمیت این ماده، استفاده از سیستم تصفیه کارآمد برای حفظ محیط‌زیست امری اجتناب‌ناپذیر است. در این تحقیق، قابلیت دو سیستم RBC متداول و سبد محتوی آکنه در مقیاس آزمایشگاهی در حذف این آلاینده در محدوده غلظت صفر تا ۵۰۰۰ mg/L بررسی شد. سیستم RBC متداول استفاده شده دو مرحله‌ای با ظرفیت تقریبی هر راکتور ۳ لیتر محتوی ۲۷ دیسک پلکسی‌گلاس با قطر ۱۵ cm و سبد محتوی آکنه یک مرحله‌ای شامل آکنه‌های Bee-cell 2000 بود. سطح ایجاد شده به وسیله دیسک‌های سیستم اول با آکنه‌های سیستم دوم برابر و در حدود ۲ m<sup>2</sup> بود. در این تحقیق بازده و کارایی دو سیستم، عوامل مؤثر بر آن‌ها شامل بار آلی، بار هیدرولیکی و سرعت چرخش بررسی و طیف NMR ورودی و خروجی سیستم‌ها مطالعه شد. نتایج به دست آمده نشان از بازده بهتر RBC متداول بود، به نحوی که بازده حدود ۹۳ درصد در حذف COD ورودی ۱۰۰۰ mg/L به دست آمد، در حالی که در همین غلظت ورودی، بازده حذف در سبد محتوی آکنه حدود ۸۸ درصد بود.

**واژگان کلیدی:** RBC، سبد محتوی آکنه، هیدروکینون، آروماتیک.

## ۱- مقدمه

با فرمول  $C_6H_4(OH)_2$  است که کاربرد گسترده‌ای در صنایع عکاسی، آرایشی و بهداشتی، لاستیک‌سازی، تولید آنتی‌اکسیدان و ترکیبات شیمیایی و کشاورزی دارد و به دلیل حضور در فاضلاب صنایع مذکور و داشتن آثار سمیت، استفاده از سیستم تصفیه‌ای کارآمد برای حفظ محیط‌زیست در این خصوص امری لازم و اجتناب‌ناپذیر است [۱]. این ترکیب از راه

ترکیبات فنلی موادی هستند که در آن‌ها یک یا چند گروه هیدروکسیل به یک حلقه بنزنی متصل باشد. هیدروکربن‌های آروماتیک با تولید میلیون‌ها تن در سال جزو ۵۰ ترکیبی هستند که بیش‌ترین حجم تولیدات مواد شیمیایی را به خود اختصاص داده‌اند. یکی از مهم‌ترین این ترکیبات، هیدروکینون

به‌عنوان نمونه موسوی در بررسی عملکرد RBC در حذف آنیلین به بازده حذف ۸۸ درصد در غلظت COD ورودی ۴۰۰ mg/L دست یافته است [۱۴].

در سال‌های گذشته به منظور افزایش کارایی سیستم‌های RBC، اصلاحات زیادی از جمله افزایش سطح و حجم بیوفیلم انجام شده است. به این منظور از روش‌هایی مانند چسباندن ورقه‌های متخلخل و یا فوم‌های پلی‌اورتان به دیسک‌ها استفاده شده است [۱۴؛ ۷]. هم‌چنین در مقیاس آزمایشگاهی استفاده از RBC شامل آکنه‌های حامل بیوفیلم به جای دیسک‌ها نتایج موفق‌تری داشته است، زیرا این آکنه‌ها در راکتوری با اندازه مشابه سطح بیش‌تری را برای بیوفیلم فراهم می‌کنند که به دلیل افزایش اغتشاش در سیستم بازده انتقال جرم بالا می‌رود. هم‌چنین این سیستم‌ها به دلیل وزن و حجم کم‌تر، مصرف انرژی و در نتیجه هزینه ساخت پایین‌تری نسبت به دیسک‌ها دارند [۱۵]. این آکنه‌ها در فرم‌ها و شکل‌های متنوعی ساخته می‌شوند که نتایج خوبی در تصفیه انواع فاضلاب‌ها داشته‌اند [۱۵؛ ۱۶؛ ۱۷].

هدف از این تحقیق مقایسه بازده و کارایی تماس‌دهنده‌های بیولوژیکی دوار متداول با نوع آکنه‌دار آن در تصفیه فاضلاب محتوی هیدروکینون می‌باشد. در این تحقیق مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر سیستم‌ها شامل بار آلی، بار هیدرولیکی، سرعت چرخش دیسک‌ها و استوانه بررسی و طیف NMR ورودی و خروجی راکتورها مطالعه شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

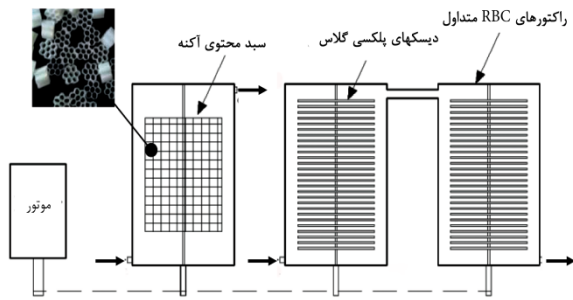
### ۲-۱- سیستم RBC متداول

سیستم‌های RBC متداول استفاده‌شده در این تحقیق (شکل ۱ و جدول ۱) از جنس پلکسی‌گلاس در ۲ واحد به‌صورت سری ساخته شدند. هر یک از راکتورها به‌صورت نیم‌استوانه و در ابعاد

روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی قابل حذف است. از مهم‌ترین روش‌های غیربیولوژیکی مطالعه شده در حذف هیدروکینون می‌توان به فرایند فنتون، اکسیداسیون شیمیایی، الکتروشیمیایی و کاربرد جاذب‌ها اشاره کرد که اغلب بازده حذف خوبی داشته‌اند؛ برای مثال در تحقیقی که درخصوص اکسیداسیون شیمیایی این ماده صورت گرفت، بازده حذف COD تا ۹۹ درصد گزارش شد [۲].

تحقیقات پیشین صورت گرفته، نشان از قابلیت مناسب تجزیه بیولوژیکی این ماده نیز است؛ به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای، اکسیداسیون ترکیبات فنلی از جمله هیدروکینون به‌وسیله پراکسید هیدروژن و نوعی آنزیم استخراج شده از باکتری *Serratia marcescens AB 90027* به‌عنوان کاتالیست بررسی شده و در COD اولیه ۳۵۰۰ mg/L، بازده حذف ۹۶ درصد حاصل شده است [۳]. هم‌چنین در تحقیق دیگری، ۹۷/۵ درصد حذف TOC با ورودی ۷۵۰ mg/L بعد از ۵ روز مشاهده شده است [۴]. در بررسی قابلیت سیستم MBBR محتوی آکنه‌های پلی‌اتیلنی، ۹۰ درصد بازده حذف در COD ورودی ۷۰۰ mg/L حاصل شده است [۲]. هم‌چنین هیدروکینون به‌عنوان ترکیب واسط در بسیاری فرایندهای تجزیه بیولوژیکی فنل، نیتروفنل و برخی دیگر از ترکیبات گروه فنل حضور داشته و در مطالعات مختلف اندازه‌گیری و تعیین شده است [۵].

در طول سال‌ها سیستم RBC با موفقیت در تصفیه ثانویه فاضلاب‌های شهری از واحدهای کوچک تا تصفیه خانه‌های بزرگ با ظرفیت چندین میلیون لیتر در روز، استفاده شده است [۶]. این سیستم قابلیت خوبی در حذف مواد آلاینده مختلف مانند کلروفنل‌ها و تری‌کلرواتیلن و تصفیه فاضلاب‌های صنایع مانند نساجی، غذایی، کاغذسازی، قند و شکر، قنادی و نیز شیرابه مرکز دفن زباله داشته است [۷؛ ۸؛ ۹؛ ۱۰؛ ۱۱؛ ۱۲؛ ۱۳].

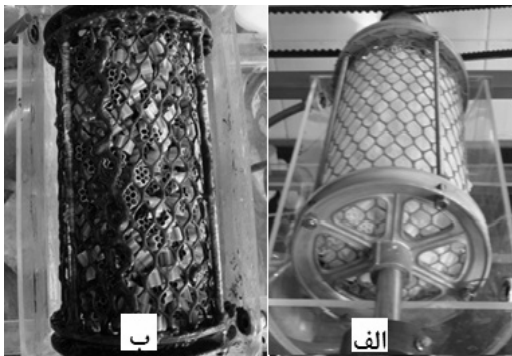


شکل (۲) فلودیاگرام سیستم‌ها

۳۲ cm (طول) در ۲۰ cm (قطر) به حجم مفید حدود ۳ لیتر بود. در هر راکتور ۲۷ دیسک از جنس پلکسی گلاس با قطر ۱۵ cm و ضخامت ۳ mm با سطحی حدود  $1 \text{ m}^2$  برای تشکیل بیوفیلم نصب و نیروی محرکه برای گردش آن‌ها به وسیله یک تسمه متصل به موتور و گیربکس تأمین شد. این راکتورها به صورت پیوسته و به کمک پمپ پرستالتیک ساخت شرکت Heidolph آلمان مدل ۵۰۰۱ با بار هیدرولیکی  $1/5 \text{ L/m}^2 \cdot \text{d}$  بهره‌برداری شدند. در شکل ۲ فلودیاگرام این سیستم‌ها ارائه شده است

## ۲-۲- سیستم RBC با سبد محتوی آکنه

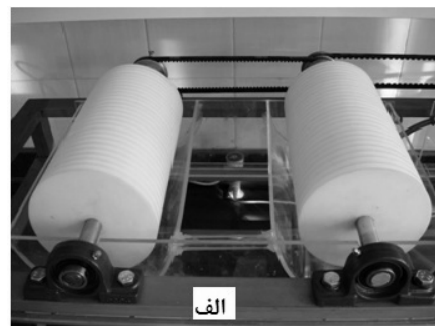
همان طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، این سیستم مانند راکتورهای RBC است، با این تفاوت که به جای دیسک‌ها از یک سبد محتوی آکنه استفاده شده است. این سبد نیز به وسیله شفت و تسمه متصل به موتور، درون راکتور پلکسی گلاس محتوی فاضلاب می‌چرخد. در جدول ۲ جزئیات این سیستم ارائه شده است.



شکل (۳) سیستم RBC با سبد محتوی آکنه

الف- قبل از راه‌اندازی؛ ب- بعد از تشکیل بیوفیلم

این سیستم نیز همانند سیستم دیگر به کمک پمپ پرستالتیک Heidolph با بار هیدرولیکی  $1/5 \text{ L/m}^2 \cdot \text{d}$  بهره‌برداری شد. آکنه‌های این سیستم با حجمی حدود ۳ L، برای تشکیل بیوفیلم سطح  $2 \text{ m}^2$  ایجاد کرده بودند که معادل مجموع سطح ایجاد شده به وسیله دیسک‌های موجود در دو راکتور RBC متداول بود.



شکل (۱) راکتورهای RBC متداول

الف- قبل از راه‌اندازی؛ ب- بعد از تشکیل بیوفیلم

جدول (۱) مشخصات سیستم RBC

تعداد راکتورها	۲ عدد سری
شکل هندسی	نیم استوانه
حجم مفید هر راکتور (L)	۳
غرق شدگی دیسک‌ها (%)	۴۰
سرعت گردش دیسک‌ها (rpm)	۲/۵-۱۲/۵
تعداد دیسک‌های هر راکتور	۲۷
مجموع سطح دیسک‌های دو راکتور ( $\text{m}^2$ )	۲

جدول (۲) مشخصات سیستم RBC با سبب محتوی آکنه

تعداد راکتور	۱ عدد
شکل هندسی	نیم استوانه
جنس توری بدنه	پلاستیک فشرده
حجم مفید راکتور (L)	۳
میزان غرق شدگی (%)	۴۰
جنس آکنه‌ها	پلی استایرن فشرده
نوع آکنه	Bee-cell 2000
سطح ویژه آکنه‌ها (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	۶۶۷
مجموع سطح آکنه‌ها (m <sup>2</sup> )	۲

فسفر در فاضلاب سنتزی تنظیم شد. عناصر دیگر استفاده شده به عنوان مواد ریز مغذی در ترکیب فاضلاب عبارتند از:  $(20 \text{ mg/L}) \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ،  $(0/12 \text{ mg/L}) \text{FeCl}_3$ ،  $(1/9 \text{ mg/L}) \text{CaCl}_2$ ،  $(2/5 \text{ mg/L}) \text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

## ۲-۴- روش‌های انجام آزمایش‌ها

تمامی نمونه‌های تهیه شده از راکتورها از فیلترهای واتمن  $0/45 \mu\text{m}$  گذرانده و COD محلول ورودی و خروجی هر یک از راکتورها به صورت روزانه سنجش شد. به طور دوره‌ای نیز آزمایشاتی برای تعیین نسبت  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  خروجی راکتورها انجام شد.

در این تحقیق میزان pH به صورت روزانه سنجش و در محدوده  $6/5$  تا  $7/5$  ثابت نگه داشته شد. سیستم‌ها در دمای آزمایشگاه  $(22 \pm 2)$  درجه سلسیوس راه‌اندازی شده بودند، به نحوی که دما در طول تحقیق ثابت بود. در طول دوره تحقیق و در دو نوبت طیف NMR از ورودی و خروجی راکتورها گرفته شد، آن‌گاه پس از انجام آزمایش‌های افزایش بار آلی، اثر بار هیدرولیکی در سه مقدار مختلف و در بار آلی ثابت بررسی شد. همچنین با بررسی بازده حذف COD در  $5 \text{ rpm}$  سرعت چرخش مختلف از  $2/5 \text{ rpm}$  تا  $12/5 \text{ rpm}$  اثر این پارامتر نیز بررسی شد.

در آخرین مرحله از آزمایش‌ها با اعمال شوک آلی به میزان  $10$  برابر غلظت ورودی بهینه توانایی سیستم‌ها بررسی شد. نکته قابل ذکر این‌که کلیه آزمایش‌ها براساس روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام شد [۱۸].

مهم‌ترین تجهیزات استفاده شده عبارتند از COD راکتور Hach مدل DRB 200 با  $16$  جالوله‌ای، BOD متر مارک WTW مدل OxiTop از نوع مانومتریک، اسپکتروفوتومتر ساخت شرکت Perkin Elmer مدل Lambda EZ 150، DO متر ساخت شرکت Hach مدل HQ30D flexi، pH متر

## ۲-۳- تهیه فاضلاب سنتزی و نحوه افزایش بار

پس از انتقال لجن از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری اکباتان تهران، میکروارگانیسم‌ها با آلاینده مطالعه شده در مدت  $2$  ماه سازگار شدند. در این دوره به صورت ناپیوسته روزانه COD معادل  $200 \text{ mg/L}$  به هر راکتور تزریق شد. در اولین مرحله تمام COD ورودی شامل گلوکز بود که به تدریج از غلظت گلوکز کاسته و بر غلظت هیدروکینون (ساخت شرکت Merck آلمان با خلوص بیش از  $99\%$  درصد) افزوده شد، به نحوی که در آخرین مرحله فقط هیدروکینون با COD معادل  $200 \text{ mg/L}$  به سیستم تزریق شد. پس از مرحله سازگاری، میزان بار آلی وارد شده بر سیستم‌ها بعد از رسیدن به شرایط پایدار به صورت پله‌ای افزایش پیدا کرد. این افزایش تا غلظت COD ورودی معادل  $2000 \text{ mg/L}$  هر بار  $200 \text{ mg/L}$  بود و از غلظت  $2000 \text{ mg/L}$  تا  $5000 \text{ mg/L}$  هر بار  $500 \text{ mg/L}$  به غلظت افزوده می‌شد. پس از اتمام آزمایش‌های افزایش بار آلی و تعیین غلظت بهینه، آزمایش‌های مربوط به بررسی اثر افزایش بار هیدرولیکی و سرعت چرخش انجام شد.

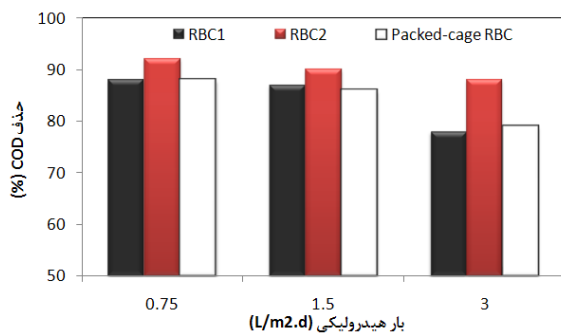
نکته قابل ذکر این‌که در کل دوره تحقیق، نسبت  $100$  به  $5$  برای کربن به نیتروژن به فسفر با افزودن اوره به عنوان منبع نیتروژن و  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  و  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  به عنوان منبع

۸۸ درصد به دست آمد.

### ۳-۲- بررسی اثر افزایش بار هیدرولیکی

به منظور بررسی اثر بار هیدرولیکی بر بازده حذف، با ثابت نگه داشتن بار آلی به میزان  $794 \text{ mg Hydroquinone/m}^2.d$  (COD معادل  $1500 \text{ mg/L}$ )، بار هیدرولیکی در سه حالت  $0.75$ ،  $1.5$  و  $3$  لیتر بر متر مربع در روز در دو سیستم اعمال شده و نمونه برداری از راکتورها تا رسیدن به حالت پایدار انجام شد.

نتایج به دست آمده (شکل ۵) نشان از کاهش بازده حذف با افزایش بار هیدرولیکی است. در بار هیدرولیکی  $0.75 \text{ L/m}^2.d$  برای راکتورهای RBC1 و RBC2 و سبدهای محتوای آکنه به ترتیب مقادیر  $88$  و  $92$  درصد حاصل شد. این مقادیر در بار هیدرولیکی  $3 \text{ L/m}^2.d$  به ترتیب به  $78$ ،  $88$  و  $79$  درصد کاهش پیدا کرد.



شکل (۵) اثر تغییر بار هیدرولیکی بر بازده حذف سیستم بازده‌های RBC متداول و سبدهای محتوای آکنه

### ۳-۳- اثر تغییر سرعت چرخش دیسک‌ها و سبدها

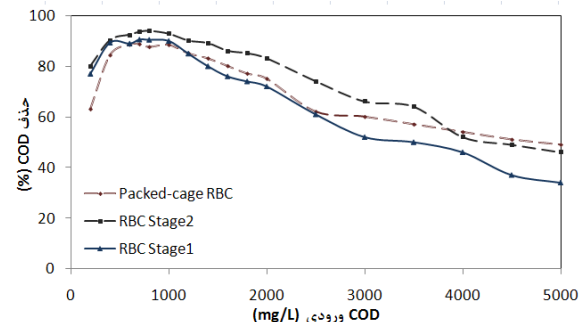
به منظور بررسی اثر سرعت چرخش بر بازده حذف سیستم‌ها، تحت بار هیدرولیکی  $1.5 \text{ L/m}^2.d$  و غلظت آلاینده  $1000 \text{ mg/L COD}$  (غلظت ورودی بازده حذف بهینه)، بازده حذف در ۵ سرعت مختلف  $0.75$ ،  $5$ ،  $2/5$  rpm،  $10$  و  $12/5$  بررسی شد.

ساخت شرکت Metrohm با الکتروود دیجیتالی مدل ۶۹۱، سانتریفوژ ساخت شرکت Sigma مدل ۱۰۱ و طیف‌سنج NMR500 از نوع AC-500MHZ (Bruker).

### ۳- نتایج

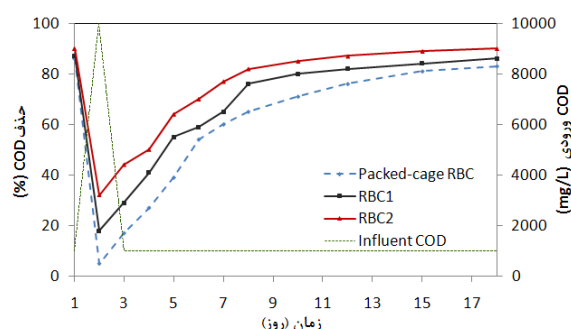
#### ۳-۱- اثر افزایش بار آلی

نتایج بازده حذف COD دو سیستم در غلظت ورودی  $200 \text{ mg/L}$  تا  $5000 \text{ mg/L}$  با سرعت چرخش  $5 \text{ rpm}$  و بار هیدرولیکی  $1.5 \text{ L/m}^2.d$  در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به شکل، ملاحظه می‌شود که عملکرد کلی دو سیستم زمان افزایش غلظت آلاینده مشابه بوده و در هر دو سیستم تا حدود  $1000 \text{ mg/L}$  روند افزایشی (با شیب کم) وجود داشته است. بعد از این مرحله، در هر دو سیستم کاهش بازده آغاز شد. از ابتدای افزایش بار آلی تا غلظت حدود  $4000 \text{ mg/L}$  بازده حذف راکتورهای RBC متداول حدود  $5$  تا  $15$  درصد بیش‌تر از سبدهای محتوای آکنه بود ولی از آن مرحله به بعد، سبدهای محتوای آکنه عملکرد بهتری را نسبت به RBCهای متداول نشان داد.



شکل (۴) اثر افزایش بار آلی بر بازده حذف سیستم‌های RBC متداول و سبدهای محتوای آکنه

برای سیستم RBC متداول بیش‌ترین بازده حذف در غلظت COD ورودی  $1000 \text{ mg/L}$  معادل  $93$  درصد و در سبدهای محتوای آکنه در غلظت‌های  $800$  تا  $1000 \text{ mg/L}$  حدود



شکل (۷) تغییرات بازده حذف راکتورها در اثر اعمال شوک

### ۳-۵- تعیین نسبت BOD<sub>5</sub>/COD

در طول دوره تحقیق، نسبت BOD<sub>5</sub> به COD به‌طور دوره‌ای تعیین شد که به‌عنوان نمونه نتایج حاصل برای شرایط با COD ورودی ۱۰۰۰ mg/L، بار هیدرولیکی ۱/۵ L/m<sup>2</sup>.d و سرعت چرخش ۵ rpm در جدول ۳ ارائه شده است. براساس نتایج حاصل نسبت BOD<sub>5</sub>/COD در محدوده ۰/۴۵ تا ۰/۵ می‌باشد.

جدول (۳) نتایج آزمایش COD و BOD<sub>5</sub>

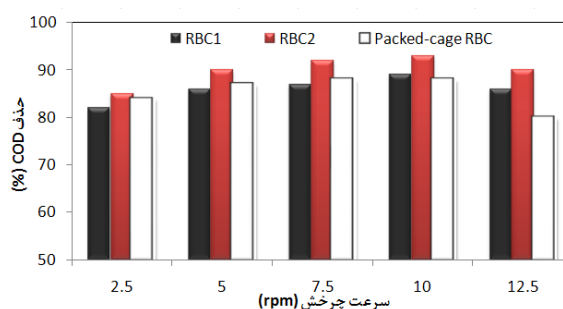
BOD <sub>5</sub> /COD	BOD <sub>5</sub> خروجی (mg/L)	COD خروجی (mg/L)	راکتور
۰/۴۹	۵۵	۱۱۲	RBC1
۰/۴۸	۴۵	۹۳	RBC2
۰/۴۵	۵۵	۱۲۲	Packed-cage RBC

### ۳-۶- بررسی طیف NMR ورودی و خروجی

برای اطمینان از نحوه عملکرد بیوراکتورها در تجزیه بیولوژیکی هیدروکینون و شکسته شدن حلقه بنزنی آن، اقدام به انجام آزمایش NMR از نوع C13 روی نمونه‌های ورودی و خروجی و بررسی طیف و تغییرات صورت گرفته در ساختار مولکولی آنها شد که بعنوان نمونه نتایج حاصل برای دو غلظت ۱۰۰۰ mg/L و ۱۶۰ mg/L در شکل‌های ۸ و ۹ ارائه شده است.

نتایج حاصل روی فاضلاب ورودی راکتورها نشان از

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، با افزایش سرعت چرخش تا ۱۰ rpm بازده حذف سیستم‌ها بهبود پیدا کرده است. در سرعت چرخش ۱۰ rpm برای راکتورهای اول و دوم RBC متداول و سبد محتوی آکنه بازده حذف COD به ترتیب ۸۷، ۹۲ و ۸۶ درصد به دست آمد. با افزایش سرعت چرخش به ۱۲/۵ rpm کاهش بازده حذف به‌ویژه سبد محتوی آکنه (به دلیل افزایش ریزش بیوفیلم) مشاهده شد. نتایج به‌دست آمده در این حالت برای دو راکتور RBC متداول و راکتور RBC با سبد محتوی آکنه به ترتیب ۸۴، ۹۰ و ۸۰ درصد بود.

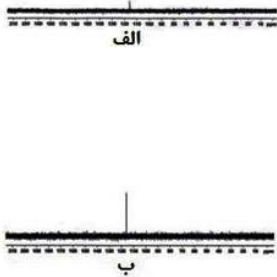


شکل (۶) اثر تغییر سرعت چرخش بر بازده حذف سیستم‌های RBC متداول و سبد محتوی آکنه

### ۳-۴- بررسی شوک آلاینده بر بازده پایلوت‌ها

برای بررسی اثر شوک آلی بر راکتورها، غلظت COD ورودی از ۱۰۰۰ mg/L به ۱۰۰۰۰ mg/L افزایش داده شد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، راکتورهای RBC متداول نسبت به سبد محتوی آکنه قابلیت بازگشت به وضعیت پیش از شوک بهتری دارند، زیرا زمان اعمال شوک ریزش بیوفیلم بیش‌تری در سبد محتوی آکنه مشاهده شد. هم‌چنین براساس نتایج حاصل، سیستم RBC متداول بعد از حدود ۱۳ روز به بازده حذفی تقریباً برابر با قبل از اعمال شوک می‌رسد ولی این زمان برای سبد محتوی آکنه حدود ۱۸ روز است.

انجام آزمایش NMR روی خروجی سیستم RBC متداول و سبد محتوای آکنه و نیز به دلیل حذف بالا و غلظت کم ماده خروجی هیچ گونه پیکی را در طیف نشان نداده است. این امر نشان دهنده تصفیه خوب و درصد حذف بالای سیستم‌ها در غلظت‌های مطالعه شده می‌باشد (شکل ۹).

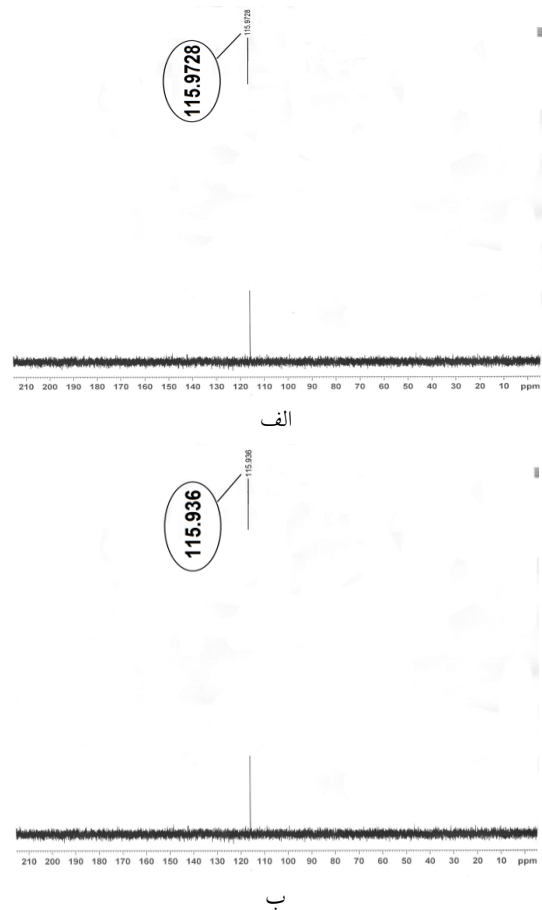


شکل (۹) طیف خروجی سیستم‌ها در غلظت الف- ۱۰۰۰ mg/L؛  
ب- ۱۶۰۰ mg/L

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج این تحقیق امکان تصفیه بیولوژیکی آلاینده آروماتیک هیدروکینون و شکسته شدن ساختار مولکولی آن به وسیله هر دو سیستم RBC معمول و سبد محتوی آکنه را تأیید می‌کند. بهترین حذف بیولوژیکی این آلاینده در COD ورودی ۱۰۰۰ mg/L پس از زمان ماند ۲۴ ساعت برای هر راکتور، سرعت چرخش ۱۰ rpm و بار هیدرولیکی ۱/۵ تا ۹۳ L/m<sup>2</sup>d درصد برای راکتورهای RBC متداول و ۸۸ درصد برای سبد محتوی حامل‌ها به دست آمد که مشابه نتایج سیستم‌های دیگر مطالعه شده است؛ برای مثال سیستم MBBR محتوای آکنه‌های پلی اتیلن، حذف ۹۰ درصد COD در ورودی ۷۰۰ mg/L [۲] و میکروارگانیزم‌های کشت شده، حذف ۹۷/۵ درصد TOC با ورودی ۱۷۰۰ mg/L [۴] را داشته‌اند.

وجود پیک در شیفیت شیمیایی<sup>۱</sup> ۱۱۵ ppm بود (شکل ۸). این نتیجه بیانگر تبدیل نشدن این ماده به ترکیبات ثانویه است، زیرا مطالعات قبلی انجام شده روی طیف NMR هیدروکینون نشان داده بود که این ماده در شیفیت شیمیایی ۱۱۵ ppm ایجاد پیک می‌کند [۱۹]. ایجاد نشدن پیک به وسیله کربن اوره را می‌توان به دو صورت توجیه کرد: اول این‌که غلظت این ماده در مقابل هیدروکینون بسیار کم بوده و دوم این‌که کربن این ماده از نوع چهارم (کربنی که به هیدروژن متصل نمی‌اشد) بوده و شدت ایجاد پیک به وسیله آن کم‌تر از کربن موجود در آلاینده آروماتیک مطالعه شده است [۲۰].



شکل (۸) طیف ورودی به سیستم‌ها در غلظت:  
الف- ۱۰۰۰ mg/L؛ ب- ۱۶۰۰ mg/L

جدول (۴) مقایسه نتایج تحقیقات انجام شده روی حذف مواد آروماتیک در سیستم‌های RBC

مرجع	بازده حذف (%) COD	COD ورودی (mg/L)	بار هیدرولیکی (L/m <sup>2</sup> .d)	سرعت چرخش (rpm)	غرق شدگی (%)	قطر دیسک‌ها (cm)	تعداد دیسک‌ها	تعداد مراحل	آلاینده
[۲۱]	۸۵	۹۰۰	۲-۹۸	۱۵	۴۰	۲۱	۲۴	۳	تولوئن
[۲۲]	۹۹	۸۰۰	۴	۱۵	۴۰	۲۱	۲۴	۳	فنل
[۱۴]	۸۸	۴۰۰	۱/۵	۱۵	۴۰	۱۵	۲۷	۲	آنیلین
تحقیق حاضر	۹۳	۱۰۰۰	۱/۵	۵	۴۰	۱۵	۲۷	۲	هیدروکینون

immobilized on polyurethane foam disks, Process Biochem., Vol. 40, pp.535-540, 2005.

## ۵- مراجع

- [8] Cema G., Wiszniowski J., Zabczyn'ski S., Zablocka-Godlewska E., Raszka A., Surmacz-Go'rska J.; Biological nitrogen removal from landfill leachate by deammonification assisted by heterotrophic denitrification in a rotating biological contactor (RBC), Water Sci. Technol.; Vol. 55, No. 8-9, pp.35-42, 2007,.
- [9] Nahid P., Vossoughi M., Alemzadeh I., Treatment of bakers yeast wastewater with a biopack system, Process Biochem., Vol. 37, pp. 447-451, 2001.
- [10] Nasr F.A., Badr N.M., Doma H.S.; Flavour industry wastewater management case study, Environmentalist; Vol. 26, , pp. 31-39, 2006.
- [11] Selvam K., Swaminathan K., Song M.H., Chae K.S.; Biological treatment of a pulp and paper industry effluent by fomes lividus and trametes versicolor; World J. Microbiol Biotechnol, Vol. 18, pp. 523-526, 2002.
- [12] Cortez S., Teixeira P., Oliveira R., Mota M.; Rotating biological contactors: A review on main factors affecting performance, Rev Environ Sci Biotechnol.; Vol. 7, , pp. 155-172, 2008.
- [13] Radwan K.H., Ramanujam T.K.; Studies on organic removal of 2,4-dichlorophenol wastewaters using a modified RBC; Bioprocess Eng. Vol. 16, , pp.219-223, 1997.
- [۱۴] موسوی سید حسین؛ بررسی کارایی سیستم دیسک‌های بیولوژیکی چرخان در حذف آنیلین با افزایش سطح
- [1] Canadian Environmental Protection Act; Notice with respect to certain substances on the domestic substances list (DSL); Canada Gazette, Part I, Vol. 141, No.5, pp.165-177, 2007.
- [۲] حاج میرفتاح مریم؛ تصفیه بیولوژیکی مواد آلی حلقوی با استفاده از راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک (MBBR)؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی محیط-زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۸۵.
- [3] Ri-Sheng Y., Min., Chun-Ling W. ;Degradation of phenolic compounds with hydrogen peroxide catalyzed by enzyme from *Serratia marcescens* AB 90027. Water Res; Vol. 40, pp. 3091-3098, 2006.
- [4] Harbison K.G., Belly R.T.;The biodegradation of hydroquinone; Environ Toxicol Chem, Vol.1, No.1, pp. 9-15, 1982.
- [5] Yi S., Zhuang W.Q., Wu B.; Biodegradation of p-nitrophenol by aerobic granules in a sequencing batch reactor. Environmental Science and Technology; Vol. 40, No. 7, pp. 2396-2401, 2006.
- [6] Banerjee G.; Hydraulics of bench-scale rotating biological contactor, Water Res; Vol. 31, pp.2500-2510, 1997.
- [7] Guimara'es C., Porto P., Oliveira R., Mota M.; Continuous decolourization of a sugar refinery wastewater in a modified rotating biological contactor with *Phanerochaete chrysosporium*



- [18] APHA-AWWA-WEF, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association; Washington DC, pp.54-58, 2005.
- [19] Klod S., Ziegs F., Dunsch L., In Situ NMR Spectroelectrochemistry of Higher Sensitivity by Large Scale Electrodes, *Anal. Chem.*, Vol. 81, No. 24, pp. 10262-10267, 2009.
- [20] Pavia D.L., Lampman G.M., Kriz G.S.; Introduction to spectroscopy; Brooks/Cole, Cengage Learning, USA, ISBN 0-495-11478-9, 2009.
- [21] Alemzadeh I., Vossoughi M.; Biodegradation of toluene by an attached biofilm in a rotating biological contactor; *Process Biochem*, Vol. 36, pp.707-711, 2001.
- [22] Alemzadeh I., Vossoughi M., Houshmandi M.; Phenol biodegradation by rotating biological contactor; *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 11, pp.19-23, 2001.
- مخصوص دیسکها؛ پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده عمران و محیط زیست تهران: دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۸.
- [15] Mathure P., Patwardhan A.W.; Comparison of mass transfer efficiency in horizontal rotating packed beds and rotating biological contactors; *J. Chem Technol Biotechnol*, Vol. 80, pp: 413-419, 2005.
- [16] Sirianuntapiboon S.; Treatment of wastewater containing Cl<sub>2</sub> residue by packed cage rotating biological contactor (RBC) system; *Bioresour. Technol.*, Vol. 97, pp. 1735-1744, 2006
- [17] Sirianuntapiboon S., Chuamkaew C., Packed cage rotating biological contactor system for treatment of cyanide wastewater, *Bioresour. Technol.*, Vol. 98, 2007, pp: 266-272

