

# تعیین مکانیسم تصفیه در راکتور بیوفیلیمی با بستر متحرک (MBBR) جهت تصفیه فاضلاب حاوی آنیلین

محمد دلنواز<sup>۱</sup>، بینا آیتی<sup>۲</sup>، حسین گنجی دوست<sup>۳</sup>

۱- دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی عمران، تلفن تماس: ۰۹۱۲۲۸۱۲۱۷۴

۲- دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، تلفن تماس: ۰۲۱-۸۸۰۱۱۰۰۱، نامبر: ۰۲۱-۸۸۰۰۶۵۴۴

m.delnavaz@gmail.com

## خلاصه

ترکیبات حلقوی آمینی به علت داشتن یک گروه بنزنی جزء ترکیبات سخت تجزیه پذیر طبقه بندی می گردند. در بسیاری از ترکیبات سخت تجزیه پذیر فرایند تجزیه بیولوژیکی روی می دهد و مطابق نتایج برخی از تحقیقات فرایند حذف برای انواع مواد آلی غیر قابل تجزیه توسط جذب بر روی توده جامد بیولوژیکی صورت می گیرد. در این تحقیق از راکتور بیوفیلیمی با بستر متحرک (MBBR) برای تصفیه فاضلاب حاوی آنیلین استفاده شده است. آنیلین به عنوان یک ترکیب سخت تجزیه پذیر در پساب بسیاری از صنایع مانند صنایع پتروشیمی، رنگ، آفت کش ها، داروسازی و لاستیک سازی وجود دارد. در راکتور MBBR جهت بستر رشد میکروارگانیسم ها از سنگدانه های سبک لیکا به عنوان محیط رشد بیوفیلیم با درصد پرشدگی ۵۰ درصد استفاده شد. میزان تصفیه پذیری این ترکیب در زمان ماند های ۸، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت و COD های مختلف تعیین گردید. پس از تعیین راندمان حذف در زمان های ماند مختلف، جهت بررسی میزان قابلیت تجزیه بیولوژیکی و میزان جذب ترکیبات توسط توده های بیولوژیکی، میزان غلظت مواد خروجی با استفاده از تعیین طیف جذبی آلاینده و با استفاده از آزمایش ناپیوسته که لجن تطبیق نیافته فاضلاب شهری با حجم معینی از آلاینده در تماس قرار داشت اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که در آزمایش ناپیوسته که از لجن تطبیق نیافته فاضلاب شهری استفاده شده بود راندمان حذف بسیار پایین بود و این امر نشان از عدم جذب آلاینده ها به توده بیولوژیکی داشت. برای اطمینان بیشتر از تجزیه بیولوژیکی آنیلین توسط راکتور MBBR خروجی راکتور برای تعیین ترکیبات تجزیه شده راکتورها تحت آزمایش NMR قرار گرفت. طیف خروجی آزمایش NMR نیز تجزیه بیولوژیکی آنیلین توسط راکتور بیولوژیکی MBBR را تایید کرد.

کلمات کلیدی: حلقوی آمینی، جذب، سخت تجزیه پذیر، طیف آلاینده، NMR

## مقدمه

راکتور بیوفیلیمی با بستر متحرک که با استفاده از روش های بیولوژیکی فاضلاب را تصفیه می نماید نزدیک به چهارده سال قبل مورد بهره برداری قرار گرفت و به تدریج در سطح اروپا عمومیت پیدا کرد [۱]. این سیستم در اواخر دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰ در کشور نروژ گسترش یافت و در اروپا و آمریکا به ثبت رسید [۲]. در طول دهه گذشته استفاده از این سیستم برای تصفیه فاضلاب شهری و نیز پساب بسیاری از صنایع مانند نیشکر و کاغذ، کارخانه های پنیر، پالایشگاه ها، کشتارگاه ها و پساب تجهیزات چاپ به طور موفقیت آمیزی به کار رفته است. این سیستم در سال های بعد گسترش یافت و یک موفقیت بزرگ جهانی برای تصفیه فاضلاب های شهری و صنعتی به حساب آمده است [۱].

کشور ایران به دلیل در اختیار داشتن منابع عظیم نفتی دارای صنایع متعدد پتروشیمی و صنایع وابسته به آن می باشد. یکی از مهم ترین مسائل در مورد این صنایع فاضلاب تولیدی آنها است به نحوی که تخلیه آنها بدون در نظر گرفتن شرایط استاندارد زیست محیطی اثرات مخرب محیطی در پی دارد. استفاده از راکتورهای جدید برای تصفیه پساب با راندمان مناسب و هزینه بهره برداری پایین، زمینه مناسب را برای رسیدن به این هدف برآورده خواهد کرد.

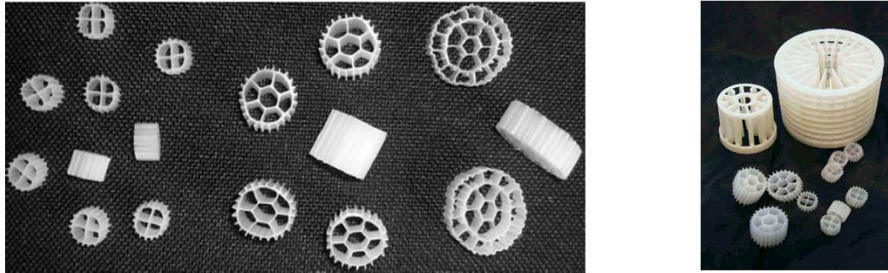
ترکیبات حلقوی آمینی در صنایع پتروشیمی، رنگ، آفت کش ها، داروسازی و لاستیک سازی کاربرد دارند. آنیلین یکی از مهم ترین ترکیبات از این گروه است که در این تحقیق مورد بررسی قرار می گیرد. آنیلین ترکیبی سمی است که به طور گسترده در صنایع شیمیایی به عنوان ماده خام و در کارخانجات رنگ، لاستیک، تولید دارو، پلاستیک سازی و آفت کش ها مورد استفاده قرار می گیرد [۳، ۵، ۴]. بیش از ۱۵۰ نوع ترکیب از آنیلین مشتق

۱- دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی عمران- مهندسی محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار بخش مهندسی عمران- مهندسی محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

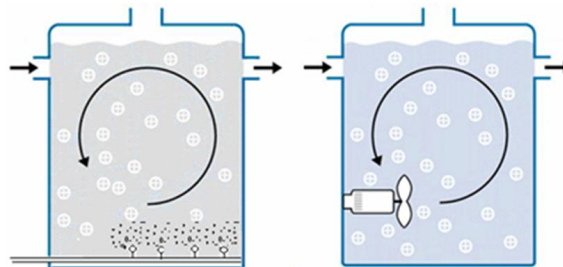
۳- استاد بخش مهندسی عمران- مهندسی محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

می‌شوند. این ماده به میزان ۳/۵ درصد در آب حل شده و این قابلیت حل شدن در آب احتمال حضور آلودگی آن را در آب افزایش می‌دهد [۵]. از این رو استفاده از سیستم‌های نوین با راندمان بالا برای تصفیه این ترکیب از پساب صنایع نامبرده ضروری است. در طراحی فرایند راکتور بیوفیلمی با بستر متحرک (MBBR) ایده اصلی بر تطابق بهترین ابزار و قابلیت‌های فرایند لجن فعال و همچنین فرایندهای بیوفیلتر و به کار گرفتن آن‌ها به موازات هم و کنار نهادن معایب هر یک از آن‌ها بوده است [۲]. در MBBR از اجزای آکنه<sup>۱</sup> که دارای سطح موثر بالایی باشند به عنوان بیوفیلیم جهت محیط رشد میکروارگانیسم‌ها و یک تانک برای رشد بیومس استفاده می‌شود. در شکل ۱ تصویر انواع متداول آکنه‌های مورد استفاده در فرایند MBBR نشان داده شده است.



شکل ۱- آکنه‌های موسوم به Kaldnes مورد استفاده در راکتورهای MBBR

بر خلاف اکثر فرایندهای بیوفیلمی، راکتور MBBR از تمام حجم تانک برای رشد بیومس استفاده می‌نماید و بسته به نوع فاضلاب این راکتور می‌تواند هوازی، بی‌هوازی و یا آنوکسیک باشد [۲]. در فرایند هوازی، حرکت آکنه‌های بیوفیلیم توسط تلاطم ناشی از جریان هوا توسط سیستم هوادهی با حباب‌های درشت بدست می‌آید در حالیکه در سیستم‌های غیر هوازی یا آنوکسیک از یک میکسر با پره چرخان برای حرکت آکنه‌ها استفاده می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲- تصویر شماتیک راکتور MBBR در شرایط هوازی، آنوکسیک و بی‌هوازی

تغییر ظرفیت پذیرش بار آلی به سیستم با تغییر کسر پر شده<sup>۲</sup> راکتور از امتیازات راکتور بیوفیلمی با بستر متحرک است. برای اینکه آکنه‌ها به راحتی در محیط راکتور حرکت کنند پیشنهاد شده است تا درصد پر شدگی کمتر از ۷۰ باشد [۲]. بیوفیلیم ایده‌آل در فرایند بستر متحرک نازک بوده و به طور یکنواخت در سطح حامل توزیع شده است. برای دستیابی به این مهم، آشفتنگی<sup>۴</sup> در راکتور از اهمیت فوق العاده‌ای هم از جهت انتقال سوبسترا به بیوفیلیم و هم برای حفظ ضخامت کم بیوفیلیم با ایجاد نیروی برشی وارد بر آن برخوردار است.

همانطور که عنوان شد MBBR در طول دهه گذشته در مقیاس‌های صنعتی و آزمایشگاهی مورد استفاده و بررسی قرار گرفته است. در تحقیقی راکتور MBBR برای تصفیه هوازی ترموفیلیمک پساب فرایند تهیه خمیر کاغذ راندمان حذف ۹۵-۸۵ برای COD محلول داشته است [۶]. در سیستم MBBR جهت تصفیه فاضلاب صنایع چاپ در مقیاس پایلوت آزمایشگاهی ۶۵-۷۵ درصد COD و ۸۵-۹۵ درصد BOD در زمان ماند هیدرولیکی ۴-۵ ساعت حذف شده است [۷]. دستیابی به راندمان ۸۰ درصد در پایلوت‌های آزمایشگاهی برای تصفیه فاضلاب صنایع لبنی و تاسیسات پرورش طیور و راندمان کمتری بین ۵۰ تا ۷۰ درصد برای فاضلاب فراوری و بسته‌بندی گوشت گزارش شده است [۸-۱۰]. برای تصفیه فاضلاب خروجی از کشتارگاه نیز در مقیاس صنعتی راندمان ۹۰ درصد و در مورد دیگر حدود ۶۰ درصد حاصل شده است [۱۱].

۱- Moving Bed Biofilm Reactor

۲- Carrier

۳- Filling Fraction or Filling Ratio

۴- Turbulence

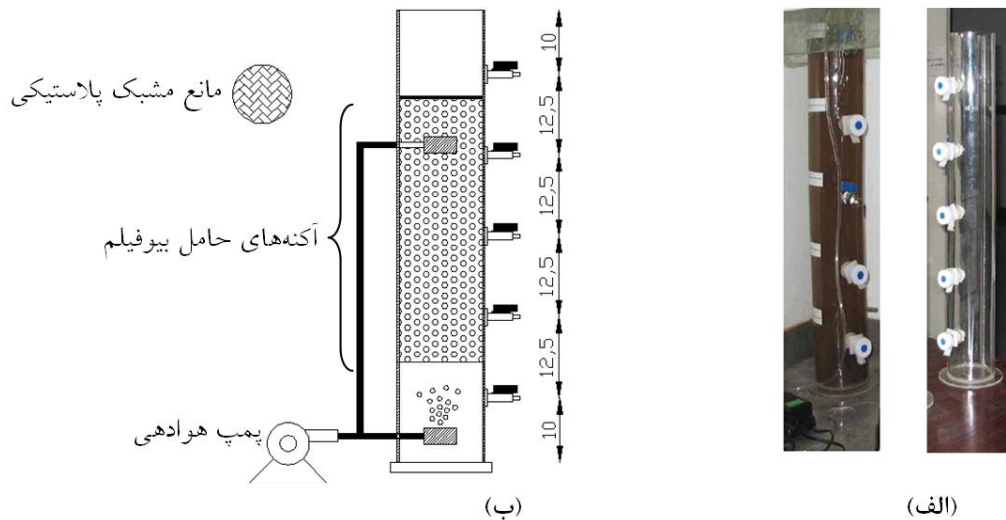
## روش تحقیق، مواد و تجهیزات

### روش تحقیق

در این تحقیق از راکتوری به حجم مؤثر ۵ لیتر برای تصفیه فاضلاب مصنوعی حاوی آنیلین استفاده شد. خلاصه‌ای از مشخصات بیوراکتور در جدول ۱ و طرح شماتیک و اصلی آن در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات راکتورهای مورد استفاده در تحقیق

جنس راکتور	ضخامت دیواره (mm)	قطر داخلی (cm)	ارتفاع (cm)	حجم مؤثر (lit)
پلکسی گلاس	۴	۱۰	۷۰	۵



شکل ۳- (الف) نمایی از راکتور راه اندازی شده (ب) طرح شماتیک راکتور مورد استفاده در تحقیق

با توجه به عدم وجود آکنه‌های نوع Kaldnes که در داخل کشور شناخته شده نبوده و کاربردی نشده‌اند و توجه به این نکته که عامل تعیین کننده در انتخاب آکنه سطح ویژه‌ای است که بیوفیلم امکان رشد روی آن را خواهد داشت (و نه شکل آن) [۱۲] از این رو در این تحقیق جهت محیط رشد بیوفیلم با توجه به ملاحظات اقتصادی از لیکا<sup>۱</sup> (شکل ۳) استفاده گردید. لیکا از انبساط خاک رس در کوره‌های گردان با حرارتی در حدود ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به دست می‌آید. از لحاظ شیمیایی این سبکدانه حاوی ۶۶٪ ترکیب  $\text{SiO}_2$ ، ۱۷٪ ترکیب  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ، ۷٪ ترکیب  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ، ۲/۵٪ ترکیب  $\text{CaO}$  و ترکیبات منیزیم، تیتانیم، سدیم و پتاسیم است. مجموعه‌ای از ویژگی‌های قابل توجه مانند سطح ویژه بالا، وزن کم، هدایت حرارتی پایین، مقاومت در برابر آتش، دوام و پایداری شیمیایی سبب تولید انبوه و گسترش کاربرد آن در صنعت ساختمان، طرح‌های عمرانی، کشاورزی، محیط‌زیست، راهسازی و غیره شده است. همچنین دوام و پایداری قابل توجه در برابر مواد شیمیایی و pH نزدیک ۷ باعث کاربرد این سنگدانه‌های مصنوعی در فیلترهای چکنده و واحدهای فیلتراسیون شده است [۱۳]. چگالی دانه‌ای سبکدانه‌های مورد استفاده در این تحقیق بر اساس ASTM C29 در حدود  $0.55 \text{ gr/cm}^3$  بدست آمد.



شکل ۳- سنگدانه‌های مصنوعی لیکا مورد استفاده به عنوان آکنه

۱- LECA (Light Expanded Clay Aggregate)

جهت تامین اکسیژن مورد نیاز برای واکنش‌های بیولوژیکی و اختلاط آکنه‌های موجود در سراسر راکتور از سه پمپ هوا در راکتور استفاده گردید. هوادهی از دو ارتفاع صورت گرفت که دو سنگ هوا در تراز تحتانی راکتور و سنگ هوای دیگر در ارتفاع ۳۵ سانتیمتری از کف راکتور قرار داده شد تا علاوه بر یکنواختی در هوادهی، اختلاط کامل آکنه‌ها در کل سیستم نیز تأمین گردد.

برای راه اندازی بیوراکتور حدود ۱۵ لیتر از لجن جریان برگشتی حوض لجن فعال تصفیه خانه فاضلاب شهرک اکباتان تهیه و در آزمایشگاه به لجن فرصت ته‌نشینی داده شد. بعد از ته‌نشینی لجن، آب روی آن تخلیه شده و ۱/۳ حجم راکتور توسط لجن غلیظ پر گردید و مابقی فضای خالی راکتور با محلول گلوکز با COD معادل ۱۰۰ mg/L به حجم ۵ لیتر رسانده شد.

با توجه به خصوصیت سخت تجزیه‌پذیری آنیلین، مرحله سازگاری میکروارگانیسم‌ها از اهمیت بالایی برخوردار بود زیرا در صورت خو گرفتن مناسب میکروارگانیسم‌ها با ماده مغذی است که فرایند اکسیداسیون بیولوژیکی روی می‌دهد [۱۴-۱۵]. در این مرحله آلاینده‌ها با غلظت بسیار کم و همراه با ترکیب ساده تجزیه پذیر گلوکز به سیستم افزوده شدند تا میکروارگانیسم‌های لجن فاضلاب شهری به تدریج توانایی استفاده از آنیلین را به صورت سوبسترا بدست آورند.

پس از سازگاری میکروارگانیسم‌ها با فاضلاب حاوی آنیلین، آکنه‌ها معادل ۵۰ درصد حجم راکتور به سیستم افزوده شدند. از آنجا که چگالی آکنه‌ها از آب کمتر بود طبیعتاً آکنه‌های افزوده شده به فاضلاب به سمت بالا حرکت کرده و نزدیک به سطح آب شناور می‌شدند. برای کنترل موقعیت استقرار آکنه‌ها در سیستم یک صفحه مشبک در عمق نزدیک به ۱۰ سانتیمتری از سطح فاضلاب موجود در راکتور تعبیه گردید تا از حرکت آکنه‌ها به طرف بالا جلوگیری نماید. طراحی راکتور به صورتی انجام شد که یکی از شیرهای نمونه‌گیری در محدوده خالی از آکنه در فاصله ۵ سانتیمتری از سطح فاضلاب در راکتور، قرار گرفت تا امکان نمونه‌گیری از این بخش فراهم گردد.

پس از افزودن آکنه‌ها، نرخ بار ورودی به سیستم به تدریج افزایش یافت و به میکروارگانیسم‌ها فرصت رشد و تشکیل بیوفیلم روی آکنه‌ها داده شد. با اضافه کردن آنیلین به راکتور در COD های کم تا مقدار ۵۰۰ mg/L به تدریج لایه‌های بیولوژیکی بر روی سطح آکنه‌ها تشکیل یافت. از این مرحله به بعد مقدار COD از غلظت معادل ۵۰۰ mg/L تا غلظت ۴۰۰ mg/L افزایش یافت.

با توجه به بالا بودن راندمان حذف MBBR برای ترکیب سخت تجزیه پذیر آنیلین و برای اطمینان از این که آلاینده جذب توده بیولوژیکی نمی‌شود و عمل تصفیه بیولوژیکی توسط راکتور صورت می‌گیرد، به صورت موازی میزان مشخصی از آلاینده در ظرفی به حجم یک لیتر در تماس با لجن تطبیق نیافته قرار گرفت و شرایط نسبتاً مشابه با راکتور MBBR در آن بوجود آمد. جهت تماس هر چه بیشتر آلاینده با لجن، ظرف در داخل دستگاه جار تست قرار گرفت تا عمل پره‌های دستگاه باعث تماس هر چه بیشتر آلاینده با توده میکروبی شود.

از طرف دیگر برای اطمینان از صحت نتایج راندمان حذف، میزان غلظت آنیلین در خروجی از راکتور نیز اندازه‌گیری و میزان ارتباط آن با COD تعیین گردید. غلظت آنیلین با استفاده از تعیین طیف جذبی در دستگاه اسپکتروفوتومتر محاسبه شد.

برای کنترل واکنش‌های بیولوژیکی در شرایط هوازی و فراهم کردن محیط مناسب برای میکروارگانیسم‌ها جهت استفاده از خوراک ورودی، پارامترهای pH، مواد مغذی، اکسیژن محلول و ... مطابق زیر در سیستم به طور مداوم اندازه‌گیری شدند.

• pH در محدوده ۶/۵-۷/۲ با استفاده از اسید (اسید فسفریک) و یا قلیا (هیدروکسید سدیم)

• میزان مواد مغذی برای تأمین نسبت ۱ : ۵ : ۱۰۰ = C : N : P

• اکسیژن محلول در محدوده ۲-۰/۵ mg/L

• میزان COD فیلتر شده و راندمان حذف آن به طور روزانه: با توجه به وجود ذرات جامد به خصوص در قسمت پایینی راکتور و احتمال ایجاد خطا، COD<sub>soluble</sub> اندازه‌گیری می‌شد. بدین ترتیب که نمونه در ابتدا از کاغذ واتمن شماره ۴۲ عبور کرده و نمونه فیلتر شده برای آنالیز COD استفاده می‌شد. لذا در بخش نتایج منظور از COD در تمام موارد COD فیلتر شده است.

• طیف جذبی آلاینده و تعیین میزان غلظت آنیلین در خروجی راکتور

• درجه حرارت راکتور برای بررسی تغییرات دمایی در سیستم

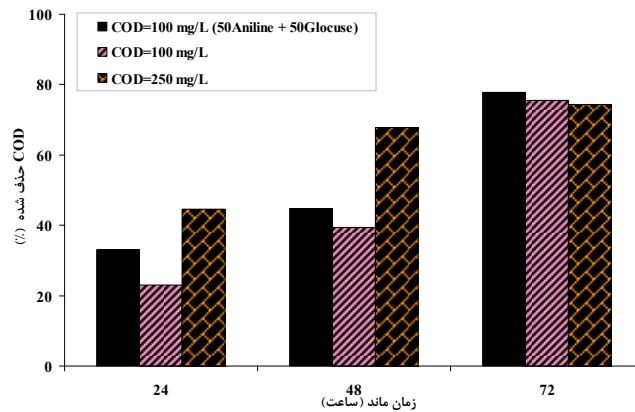
## نتایج و بحث

### بررسی بیوراکتور در مرحله سازگاری

در مرحله اول سازگاری، گلوکز با COD معادل ۱۰۰ mg/L به سیستم تزریق شد که راندمان حذف گلوکز در این مرحله در حدود ۸۵ درصد در زمان ماند ۲۴ ساعت بدست آمد که بیانگر کارایی سیستم برای حذف این ترکیب ساده تجزیه پذیر بود. در مرحله دوم میزان خوراک دهی به صورت پله‌ای افزایش یافت به نحوی که از COD معادل ۱۰۰ mg/L مقدار ۹۰ mg/L مربوط به گلوکز و ۱۰ mg/L آن مربوط به آنیلین بود. با ادامه این روند، خوراک‌دهی به صورت ۲۰+۸۰، ۳۰+۷۰، ۴۰+۶۰ و ۵۰+۵۰ به سیستم وارد و راندمان حذف در زمان ماندهای ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت اندازه‌گیری شد. افزایش سهم آنیلین به ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد با کاهش راندمان حذف تا ۵۰٪ در زمان ماند ۷۲ ساعت همراه بود که علت اصلی کاهش را می‌توان به عدم تطابق کامل میکروارگانیسم‌ها برای تجزیه بیولوژیکی این ترکیب دانست. در ادامه با برابر کردن سهم آلاینده و گلوکز در باردهی به راکتور و ادامه این باردهی در طی چند دوره سرانجام میزان راندمان حذف توسط بیوراکتور به ۷۸٪ رسید که بیانگر سازگار شدن میکروارگانیسم‌های لجن فاضلاب شهری

با ترکیب حلقوی آمینی بود.

در آخرین مرحله سازگاری میکروارگانیسم‌ها، آکنه‌ها با درصد پرشدگی ۵۰ به راکتور اضافه و محلول آنیلین در این مرحله بارگذاری آبی با COD معادل ۵۰۰ mg/L به راکتور تزریق شد. راندمان حذف ۸۲ درصد پس از ۷۲ ساعت بیانگر توانایی سیستم برای اضافه کردن بالاتر آلاینده بود.

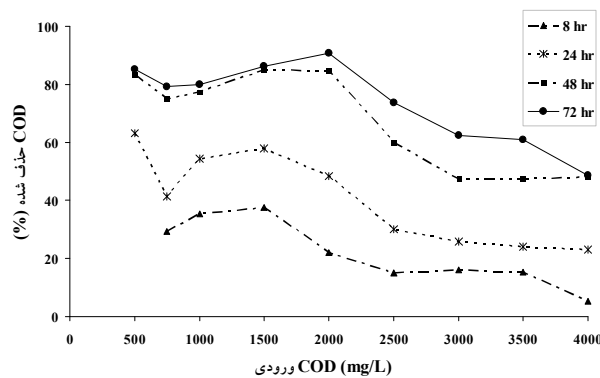


شکل ۴- راندمان حذف COD در مرحله سازگاری

#### بررسی اثر زمان ماندنهای مختلف بر عملکرد راکتور

نتایج حاصل از باردهی به سیستم از COD معادل ۵۰۰ mg/L تا ۴۰۰۰ mg/L در شکل ۵ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود بالاترین راندمان حذف به میزان ۹۱ درصد در COD معادل ۲۰۰۰ mg/L و در زمان ماند ۷۲ ساعت حاصل شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود که در محدوده COD معادل ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ میلی گرم بر لیتر افزایش قابل ملاحظه‌ای در راندمان حذف بین زمان ماند ماند ۴۸ و ۷۲ ساعت وجود ندارد و بیشترین مقدار این اختلاف در COD معادل ۲۵۰۰ mg/L به اندازه ۱۳ درصد است.

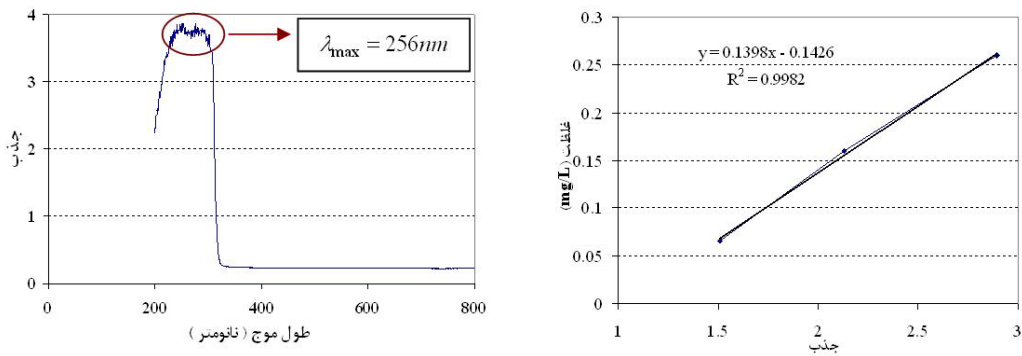
افزایش باردهی به سیستم در راکتور از COD معادل ۲۰۰۰ mg/L به بعد نشان از کاهش در راندمان دارد به نحوی که در COD معادل ۳۵۰۰ mg/L پس از ۷۲ ساعت فقط ۶۰ درصد آنیلین حذف و با ادامه بررسی تا ۱۲۰ ساعت تنها افزایش معادل ۴ درصد حاصل شده است.



شکل ۵- راندمان حذف آنیلین در زمان‌های ماند مختلف با پرشدگی ۵۰ درصد

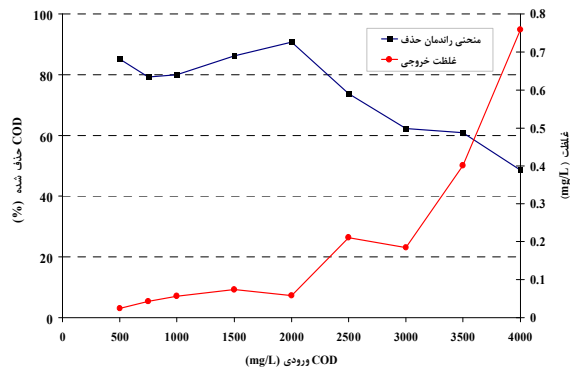
#### بررسی میزان غلظت آلاینده خروجی

جهت اندازه‌گیری غلظت آلاینده خروجی از راکتور، ابتدا طیف جذبی آنیلین تعیین گردید. برای این منظور میزان جذب این ماده در طول موج‌های مختلف بدست آمد و طول موج متناظر با بیشترین جذب برای تنظیم دستگاه اسپکتروفتومتر و تعیین میزان غلظت تعیین شد. نمودارهای مربوط به این طیف در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- منحنی استاندارد جذب- غلظت و طیف جذبی آنیلین

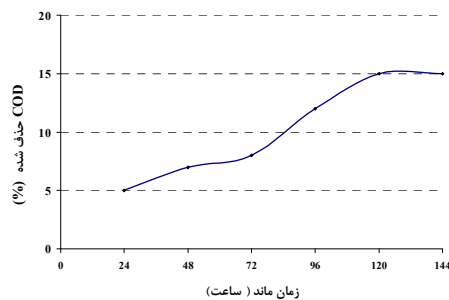
با استفاده از منحنی استاندارد جذب برای آنیلین میزان غلظت خروجی این آلاینده از راکتور در زمان ماند ۷۲ ساعت و برای CODهای مختلف تعیین گردید. نتایج حاصل شده رابطه منطقی بین COD حذف شده و غلظت باقیمانده در راکتور را برای هر مرحله باردهی به سیستم نشان داد. شکل ۷ نتایج مربوط به غلظت آلاینده خروجی از راکتور و میزان COD حذف شده از سیستم را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد، در مراحل انتهایی که میزان بار اعمالی به سیستم بالا بوده و راندمان سیستم کاهش می‌یابد میزان غلظت آنیلین نیز در خروجی از راکتور افزایش می‌یابد. این روند بطور نسبتاً منظمی در سایر مراحل بارگذاری نیز قابل مشاهده است.



شکل ۷- نمودار راندمان حذف COD و غلظت خروجی از راکتور در زمان ماند ۷۲ ساعت

### بررسی راندمان حذف آلاینده با لجن تطبیق نیافته

نتایج مربوط به بررسی راندمان حذف آنیلین با لجن تطبیق نیافته فاضلاب شهری در COD اعمالی معادل ۲۰۰۰ mg/L در شکل ۸ ارائه شده است. مطابق شکل راندمان حذف در زمان ماندهای مختلف بسیار پایین بوده و بعد از ۵ روز تنها ۱۵٪ راندمان حذف حاصل شده است.



شکل ۸- نمودار راندمان حذف آلاینده با لجن تطبیق نیافته در آزمایش ناپیوسته

## نتیجه‌گیری

- در حالت بارگذاری ناپیوسته بالاترین راندمان حذف ۹۱٪ در بار آلی ورودی با  $COD = 2000 \text{ mg/L}$  پس از ۷۲ ساعت بدست آمد که نشان از قابلیت سیستم برای حذف این ترکیب سخت تجزیه پذیر بود.
- مقایسه راندمان حذف راکتور MBBR با سایر روش‌های تصفیه بیولوژیکی نشان می‌دهد که در این مطالعه راندمان حذف ۹۱٪ با غلظت ورودی  $770 \text{ ppm}$  حاصل شد که بالاتر از سایر روش‌های بیولوژیکی بود که در منابع برای حذف آنیلین معرفی شده بود.
- بررسی غلظت آلاینده خروجی از راکتور در باردهی بالا به سیستم که همراه با کاهش راندمان سیستم بود نشان از افزایش میزان غلظت آنیلین در خروجی از راکتور داشت.
- مقایسه بین غلظت آلاینده خروجی از راکتور و راندمان حذف COD در تمام مراحل باردهی به سیستم ارتباط نسبتاً منظمی بین COD و غلظت آلاینده داشت.
- بررسی راندمان حذف آلاینده با لجن تطبیق نیافته فاضلاب شهری نشان از عدم کارایی میکروارگانسیم‌های تطبیق نیافته برای حذف این ترکیب به صورت جذب بر روی توده میکروبی داشت به نحوی که بعد از ۵ روز تنها ۱۵٪ راندمان حذف حاصل شد.
- نتایج آزمایش NMR بر روی نمونه‌های ورودی و خروجی از راکتور نشان داد که خروجی از راکتور ترکیبی از مواد آلی است که حلقه بنزنی آن شکسته شده و به ترکیب آلیفاتیک آلکنی تبدیل گردیده است و به عبارت دیگر راکتور MBBR در تجزیه بیولوژیکی این ترکیب موفق بوده است.

## مراجع

- [1] Hosseini, S.H., Borghei, S.M. (2005) The treatment of phenolic wastewater using a moving bed bio-reactor. *Journal of Process Biochemistry*, 40(3-4), 1027-1031.
- [2] Rusten, Bjørn., Eikebrokk, Bjørnar., Ulgenes, Yngve., Lygren, Eivind. (2006) Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Journal of Aquacultural Engineering*, 34(3), 322-331.
- [3] Brillas Enric, Casado Juan. (2002) Aniline degradation by Electro-Fenton\_ and peroxi-coagulation processes using a flow reactor for wastewater treatment. *Chemosphere*; 47(3), 241-248.
- [4] Qi Xin-Hua., Zhuang, Yuan-Yi., Yuan, You-Cai., Gu, Wen-Xin. (2002) Decomposition of aniline in supercritical water. *Journal of Hazardous Materials*, 90(14), 51-62.
- [5] Devulapalli, Ramanamurthy., Jones, Francis. (1999). Separation of aniline from aqueous solutions using emulsion liquid membranes. *Journal of Hazardous Materials*, 70(3), 157-170.
- [6] Jähren S.J., Rintala J.A., Odegaard H., (2002) Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermomechanical pulping whitewater under thermophilic conditions. *Journal of Water Research*, 36(4), 1067-1075.
- [7] Broch-Due A., Andersen R., Opheim B., (1997) Treatment of integrated newsprint mill wastewater in moving bed biofilm reactors. *Journal of Water Science and Technology*, 35(2-3), 173-180.
- [8] Andreottola G., Foladori P., Ragazzi M., (2002) Dairy wastewater treatment in a moving bed biofilm reactor. *Journal of Water Science and Technology*, 45(2), 321-328.
- [9] Grabas M. (2000) Organic matter removal from meat processing wastewater using moving bed biofilm reactors. *Journal of Environment Protection Engineering*, 26(1), 55-62.
- [10] Rusten Bjørn, Johnson C.H., Devall S. (1999) Biological pretreatment of a chemical plant wastewater in high-rate moving bed biofilm reactors. *Journal of Water Science and Technology*, 39(10-11), 257-264.
- [11] Johnson C.H., Page M.W., Blaha L. (2000) Full scale moving bed biofilm reactor results from refinery and slaughter house treatment facilities. *Journal of Water Science and Technology*, 41(4-5), 401-407.
- [12] Odegaard, H. (2006) Innovations in wastewater treatment: The moving bed biofilm process. *Journal of Water Science and Technology*, 53(9), 17-33.
- [۱۳] محمدی تهرانی، ف. (۱۳۷۷). «راهنمای جامع لیکا. دانه رس منبسط شونده و فراورده‌های آن»، چاپ اول، انتشارات دفتر فنی لیکا.
- [۱۴] اکن فلدر، و.، ترجمه: ترکیان، ا.، (۱۳۸۰). «تصفیه فاضلاب‌های صنعتی»، جلد اول، انتشارات شرکت شهرک‌های صنعتی تهران.
- [۱۵] رنلدز، ت.، ترجمه: ترکیان، ا.، (۱۳۷۹) «واحدهای عملیاتی و فرایندی در مهندسی محیط زیست»، انتشارات شرکت شهرک‌های صنعتی تهران.
- [16] APHA/AWWA/WEF, (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th edition, Washington DC, USA.