

# بررسی عملکرد راکتور بیوفیلمی بستر متحرک (MBBR)

## در تصفیه مخلوط فاضلابهای شهری و صنعتی مطالعه موردی: تصفیه خانه فاضلاب پرکندآباد مشهد

نسرين محمد ياري<sup>۱</sup>      علي بالادر<sup>۲</sup>

(دریافت ۸۵/۲/۱۸ پذیرش ۸۶/۱۰/۱)

### چکیده

در این تحقیق عملکرد راکتور بیوفیلمی بستر متحرک MBBR به عنوان تلفیقی از سه سیستم لجن فعال، بستر چسبیده و بستر سیالی شده در تصفیه مخلوط فاضلابهای شهری و صنعتی مورد بررسی قرار گرفته است. فاضلاب ورودی به تصفیه خانه پرکندآباد مشهد مخلوطی از فاضلاب شهری و فاضلاب چندین صنعت مختلف (صنایع غذایی، نساجی، کانی فلزی، کانی غیر فلزی و ...) می باشد. برای این منظور عملکرد سیستم MBBR در یک پایلوت ۱۰۰ لیتری و در شرایط آب و هوایی مشابه با تصفیه خانه پرکندآباد مشهد و در زمانهای ماند مختلف و بارهای آلودگی متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که وجود شوک های هیدرولیکی در این تصفیه خانه یکی از مشکلات رایج می باشد در مراحل بعدی عملکرد سیستم پس از اعمال شوک هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفته است. این سیستم در زمان ماندهای بیشتر از ۱۲ ساعت قابلیت کاهش COD در حد استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست را دارد. همچنین در زمان کوتاهی پس از اعمال شوک هیدرولیکی توانایی برگشت به حالت پایدار را دارد.

**واژه های کلیدی:** راکتور بیوفیلمی بستر متحرک، آکنه، بستر سیالی شده، راکتور با جریان رو به بالا، شوک هیدرولیکی.

## Performance of MBBR in the Treatment of Combined Municipal and Industrial Wastewater A Case Study: Mashhad Sewage Treatment Plant of Parkandabad

Nasrin Mohammadyari<sup>1</sup>

Ali Balador<sup>2</sup>

(Received May 8, 2006    Accepted Dec. 22, 2007)

### Abstract

MBBR is a combination of three systems: Activated sludge, Fixed film, and Fluidized bed. This system has been designed in a manner to include the advantages of the above systems but removing most of their disadvantages. The main characteristic of the system is the growth of a biofilm on the small packing that moves through the reactor. Because of the biofilm growth on the kaldnes packing, the internal special area of the MBBR is high and around  $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Evidenced by reports in the literature, MBBR has been successfully used for the treatment of different industrial effluents from dairy industries, food industries, slaughter houses, paper mills, refineries, and chemical plants. In this study, the operation of MBBR in treating the combined municipal and industrial wastewater (Parkand Abad Wastewater Treatment Plant, Mashhad, Iran) is studied. The results from the pilot study revealed that MBBR was capable of reducing COD levels to 43, 57, 76% at such low hydraulic retention times of 8, 12, 24 hrs, respectively. The system was also found to be capable of handling hydraulic shocks such that the system regained its stability over a short time after the shock and that the effluent COD fluctuation before and after the shock was as low as 70 mg/l.

**Keywords:** MBBR, Acne, Fluidized Bed, Up Flow Reactor, Hydraulic Shock.

1- Master of Science of Chemical Engineering (Environmental),  
Khorasan Razavi Industrial Estates Co.  
2- PhD in Environmental Engineering, Mashhad Water &  
Wastewater Co., balador2003@yahoo.com

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی (محیط زیست)، شرکت شهرکهای صنعتی خراسان رضوی  
۲- دکترای مهندسی بهداشت محیط، شرکت آب و فاضلاب مشهد،  
balador2003@yahoo.com

بر اساس تحقیقات مختلف می‌توان بیان کرد که عامل کلیدی برای طراحی MBBR سطح ویژه مؤثر است. شکل و اندازه آکنه‌ها بر روی این سطح اثر می‌گذارند؛ اما در یک سطح ویژه خاص تفاوت چندانی بین شکل و اندازه مختلف آکنه‌ها وجود ندارد. آنچه برای طراحی این سیستم همانند دیگر سیستم‌های رشد چسبیده ملاک طراحی قرار می‌گیرد پارامتر بار سطحی (کیلوگرم COD بر مترمربع در روز) است. از خصوصیات منحصر به فرد این راکتور می‌توان به پایداری و خودکنترل‌کنندگی، فشردگی راکتور، انعطاف‌پذیری در طراحی فرآیند، زمان ماند پایین، افت هیدرولیکی کم، عدم ایجاد لخته و تجمع لجن اشاره نمود.

MBBR برای تصفیه فاضلاب کارخانه‌های صنایع غذایی (به صورت موردی فرآورده‌های حجیم شده) نیز استفاده گردیده است و نتیجه این کاربرد حذف ۹۵ تا ۹۷/۵ درصدی COD برای بار آلی ۸ تا ۱۶ گرم COD بر مترمربع در روز بوده است [۱]. در مورد فاضلاب کشتارگاه این سیستم به عنوان یک واحد پیش تصفیه و قبل از ورود فاضلاب به سیستم لجن فعال مطلوب می‌باشد؛ به علاوه مقدار نیتروژن فاضلاب را نیز به میزان خوبی کاهش می‌دهد [۲]. برای فاضلاب صنایع شیمیایی، MBBR در یک تصفیه‌خانه قدیمی دارای فیلتر چکنده به کار گرفته شد. در این کارخانه پس از توسعه، واحدهای فیلتر صافی چکنده به MBBR با سرعت بالا تبدیل گردیدند و خروجی آن برای تصفیه نهایی به واحد لجن فعال با اکسیژن خالص فرستاده شد [۲]. در حال حاضر در کشورهای نروژ و سوئد چندین واحد MBBR برای تصفیه فاضلاب صنایع چوب و کاغذسازی استفاده می‌شود [۱].

هدف اصلی این پروژه بررسی عملکرد راکتور بیوفیلمی بستر متحرک در تصفیه مخلوط فاضلابهای شهری و صنعتی می‌باشد. تاکنون عملکرد این راکتور برای تصفیه فاضلاب شهری و یا صنایع مختلف مورد بررسی قرار گرفته است؛ اما به صورت موردی برای فاضلابی که مخلوطی از فاضلاب شهری و فاضلاب چندین صنعت مختلف (صنایع غذایی، نساجی، کانی فلزی، کانی غیر فلزی و ...) باشد، تحقیقی انجام نشده است. بر این اساس در قالب یک طرح تحقیقاتی و با همکاری شرکت آب و فاضلاب مشهد و در محل تصفیه‌خانه پرکنندآباد مشهد اثر زمان ماند، غلظت‌های مختلف فاضلاب ورودی، بارهای آلی متفاوت و همچنین اثر شوک‌های مختلف هیدرولیکی بر روی عملکرد MBBR بررسی گردید.

## ۲- مواد و روشها

ورودی فاضلاب تصفیه خانه پرکنندآباد مشهد قسمتی از فاضلاب بهداشتی شهر مشهد و فاضلاب صنعتی واحدهای مستقر در محور مشهد- قوچان و شهرک صنعتی توس است.

راکتور بیوفیلمی بستر متحرک<sup>۱</sup> توسط یک شرکت نروژی و با همکاری مرکز تحقیقات سینتف<sup>۲</sup> در سال ۱۹۸۷ ابداع و توسعه یافت. در محدوده سالهای ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۹ و در ۱۶ کشور مختلف تعداد ۱۰۸ واحد از این سیستم برای تصفیه انواع فاضلابها مورد استفاده قرار گرفت. MBBR را می‌توان برای تصفیه فاضلابهایی با کیفیت مختلف مانند فاضلاب شهری، فاضلاب صنایع غذایی، فاضلاب صنایع کاغذسازی، فاضلاب پالایشگاه و ... به کار برد. پایین بودن هزینه‌های بهره‌برداری، کارآیی و بازده بالای سیستم، راهبری آسان، کارآیی برای تصفیه انواع فاضلابها، منسجم و کوچک بودن سیستم، پیوسته بودن روند با مزایای سیستم لجن فعال و سیستم‌های بستر چسبیده، عدم نیاز به شست‌وشوی معکوس، نداشتن مشکل فرار لجن و حذف همزمان فسفر و نیتروژن از مهم‌ترین عوامل پیشرفت این راکتور در تصفیه فاضلاب می‌باشد.

MBBR را می‌توان تلفیقی از سه سیستم لجن فعال، بستر چسبیده و بستر سیالی شده<sup>۳</sup> دانست. مشخصه اصلی این راکتور رشد بیوفیلیم بر روی آکنه‌های کوچکی است که در طول سیستم حرکت می‌کنند. هوادهی این راکتورها به صورت حباب درشت انجام می‌شود که علاوه بر فراهم کردن مقدار اکسیژن لازم برای تجزیه بیولوژیکی اختلاط کافی را هم ایجاد می‌نماید، در نتیجه رژیم جریان راکتور MBBR کاملاً مخلوط است. برای فرآیندهایی مانند دنتریفیکاسیون که از MBBR به عنوان یک راکتور بی‌هوای و یا اختیاری استفاده می‌کنند، عمل اختلاط توسط مخلوط‌کن‌های مکانیکی انجام می‌شود. شکل عمومی و متداول این راکتورها استوانه‌ای و جریان فاضلاب در آنها رو به بالا می‌باشد.

آکنه‌های مورد استفاده در این سیستم از جنس پلی اتیلن بوده و دارای چگالی کمتر از آب (۰/۹۲ تا ۰/۹۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب) هستند که همین چگالی پایین باعث معلق و شناور شدن آکنه‌ها در طول راکتور می‌شود. شکل عمومی و متداول آکنه kaldnes استوانه‌ای به قطر ۱۰ میلی‌متر و ارتفاع ۷ میلی‌متر است که روی سطح خارجی آن پره‌هایی نصب گردیده است. داخل این استوانه‌ها نیز شبکه‌هایی با قطر ۵ میلی‌متر وجود دارد که بیوفیلیم را داخل آکنه نگه می‌دارد. آکنه kaldnes دارای سطح ویژه داخلی برابر با ۵۰۰ مترمربع بر مترمکعب است و حدود ۷۰ درصد از حجم راکتور از این آکنه پر می‌گردد که بر این اساس سطح ویژه داخلی ۳۵۰ مترمربع بر مترمکعب خواهد بود.

<sup>1</sup> Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)

<sup>2</sup> SINTEF

<sup>3</sup> Fluidized Bed

فواصل معین دو شیر نمونه‌گیری و یک شیر تخلیه نصب گردید. هوادهی این راکتور توسط یک شیلنگ مارپیچ با سوراخهایی به قطر ۰/۵ میلی‌متر صورت می‌گرفت که در کف راکتور نصب گردید. در سر راه جریان ورودی به سیستم از یک رتامتر استفاده شد که میزان جریان ورودی سیستم را نشان می‌داد.

برای نگهداری فاضلاب و یکنواختی جریان ورودی به داخل سیستم از یک مخزن ۱۰۰۰ لیتری استفاده گردید. یکنواختی فاضلاب داخل مخزن و ممانعت از ته‌نشینی ذرات جامد فاضلاب توسط یک همزن با دور کند که با استفاده از یک محور عمودی در کف مخزن نصب گردیده بود، انجام می‌شد. شکل ۱ نمایی از پایلوت MBBR و مخزن مورد استفاده برای نگهداری فاضلاب را نشان می‌دهد.

به منظور بررسی فاکتورهای مختلف بر عملکرد MBBR برای تصفیه این فاضلاب خاص، پایلوتی طراحی و ساخته شد. مبانی اصلی طراحی این پایلوت محدودیتهای مکانی ارتفاع و حجم، تغییرات زمان ماند هیدرولیکی بین ۸ تا ۲۴ ساعت، نمونه‌برداری ساده، فشار هوای مناسب، اندازه‌گیری جریان ورودی و ... می‌باشد. بر اساس این مبانی، پایلوتی با مشخصات جدول ۱ ساخته و از آن استفاده گردید. به دلیل بالا بودن هزینه استفاده از آکنه kaldnes از آکنه‌ای ارزان قیمت و در عین حال با نسبت سطح به حجم بالا استفاده گردید. آکنه انتخابی Flocor – RMP است که به صورت استوانه‌ای موجدار بوده و جدول ۲ مشخصات آن را نشان می‌دهد. جریان ورودی فاضلاب از کف راکتور و خروجی فاضلاب تصفیه شده از شیر بالایی راکتور بود. بر روی این راکتور و در

جدول ۱- مشخصات پایلوت MBBR

نسبت سطح به حجم ( $\frac{m^2}{m^3}$ )	درصد پرشوندگی	حجم مفید (L)	عمق آب در راکتور (cm)	قطر (cm)	ارتفاع (cm)	جنس راکتور
۱۶۵	۷۰	۱۰۰	۱۴۰	۳۰	۱۵۰	پلکسی گلاس

جدول ۲- مشخصات آکنه های مورد استفاده در پایلوت MBBR

نام آکنه	جنس	شکل آکنه	قطر (cm)	ارتفاع (cm)	وزن مخصوص ( $\frac{gr}{cm^3}$ )	سطح ویژه هر آکنه ( $\frac{m^2}{m^3}$ )
Flocor-RMP	PVC	استوانه‌ای موجدار	۱/۵	۱	۰/۹۱	۲۳۸



پایلوت MBBR



مخزن نگهداری فاضلاب

شکل ۱- نمایی از پایلوت MBBR و مخزن مورد استفاده برای نگهداری فاضلاب

هدف اصلی از راه‌اندازی راکتور تشکیل بیوفیلیم در داخل آکنه‌ها می‌باشد. برای این منظور در یک دوره کارکرد سیستم به صورت ناپوسته و خوراک دهی با ملاس چغندر قند و فاضلاب استخر هوادهی تصفیه‌خانه انجام گردید. به منظور افزایش غلظت MLSS در داخل راکتور، از لجن واحد لجن فعال تصفیه‌خانه کارخانه صنایع شیر استفاده شد. برای تشکیل بهتر بیوفیلیم در داخل آکنه‌ها، راکتور با یک زمان ماند بالا (دبی ورودی کم) به حالت پیوسته در آمد. در مرحله بعد نیاز به عادت دادن میکروارگانیسم‌های چسبیده به آکنه به فاضلاب ورودی تصفیه‌خانه پرکنندآباد بود که این کار نیز به صورت تدریجی و با بالا بردن نسبت حجم فاضلاب ورودی به کل فاضلاب (فاضلاب ورودی تصفیه‌خانه به همراه فاضلاب سنتتیک ساخته شده با ملاس) صورت گرفت. پس از راه‌اندازی بیوراکتور، روزانه حجم معینی از فاضلاب ورودی تصفیه‌خانه به مخزن نگهداری انتقال می‌یافت و بر اساس زمان ماند هیدرولیکی با دبی مشخصی وارد پایلوت می‌گردید. مدت زمان بهره‌برداری از پایلوت پس از تشکیل بیوفیلیم بر روی آکنه‌ها ۴ ماه در نظر گرفته شد.

قابل ذکر است برای ساخت فاضلاب سنتتیک بر اساس میزان COD یک میلی‌گرم بر لیتر محلول ملاس در آب میزان ملاسی که باید به فاضلاب اضافه می‌گردید، محاسبه شده و به مخزن نگهداری فاضلاب اضافه می‌شد و به وسیله همزن موجود در مخزن یکنواخت می‌گردید. در مرحله کارکرد پیوسته با زمان ماند بالا و به منظور عادت دادن بیوفیلیم به فاضلاب ورودی شاخص COD فاضلاب ورودی ثابت در نظر گرفته شد (COD برابر ۴۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) و به تدریج حجم فاضلاب سنتتیک که باید به مخزن نگهداری فاضلاب ریخته می‌شد کاهش و میزان فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه که به مخزن اضافه می‌گردید افزایش می‌یافت. آزمایش‌ها در سه زمان ماند مختلف (۱۲، ۸ و ۲۴ ساعت) انجام شد. در هر زمان ماند، غلظت فاضلاب ورودی به پایلوت با توجه به متغیر بودن غلظت فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه در روزهای مختلف، دارای نوساناتی بود. پس از انجام این دوره آزمایش‌ها اثر دو شوک هیدرولیکی و غلظتی بر روی عملکرد راکتور MBBR مورد بررسی قرار گرفت. در طول آزمایش‌ها پارامترهای COD کل و محلول ورودی و خروجی،  $BOD_5$  کل و محلول ورودی و خروجی و غلظت مواد معلق در داخل راکتور اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفت.

قابل ذکر است زمان ماند واقعی سیستم بر اساس درصد پرشوندگی پایلوت از آکنه و بدون در نظر گرفتن حجم بیومس چسبیده به آکنه‌ها (که البته ضخامت بسیار کمی دارد) محاسبه و

برای زمان ماند واقعی نسبت حجم پایلوت به دبی ورودی منظور شده است.

در طول آزمایش، چندین نوبت نسبت MLSS چسبیده به معلق محاسبه گردید. MLSS معلق با توجه به نمونه‌گیری از شیرهای نصب گردیده در ارتفاعات مختلف پایلوت اندازه‌گیری شد و برای اندازه‌گیری میزان MLSS چسبیده تعداد مشخصی از آکنه به صورت اتفاقی از راکتور خارج و در ظرفی با حجم مشخص حاوی محلول کاملاً رقیق اسید قرار داده شد و پس از کنده شدن کامل بیوفیلیم و با لحاظ کردن ضرایب مربوطه میزان MLSS چسبیده اندازه‌گیری گردید.

پایلوت مذکور در فضایی خارج از ساختمان آزمایشگاه و در درجه حرارت محیط (محوطه تصفیه‌خانه پرکنندآباد مشهد) قرار گرفت و آزمایش‌ها در طول فصل زمستان (درجه دمای ۱۰- تا ۲۰- درجه سانتی‌گراد) و در شرایط دمایی بسیار سرد صورت گرفت. لازم به ذکر است علت اصلی انتخاب محوطه تصفیه‌خانه برای قراردادن پایلوت همسان کردن شرایط پایلوت با شرایط کلی تصفیه‌خانه به منظور مقایسه عملکرد بود.

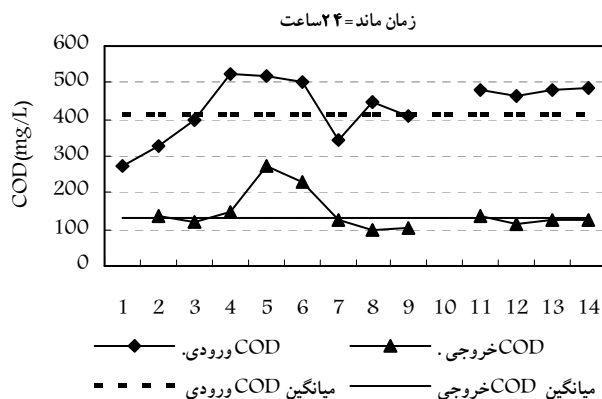
در طی دوره کارکرد پایلوت، pH فاضلاب ورودی مرتباً اندازه‌گیری می‌گردید که محدوده تغییرات آن ۶ تا ۸ ثبت گردیده است. همچنین میزان اکسیژن محلول (DO) واحد پایلوت بین ۱/۵ تا ۳ متغیر بوده است.

### ۳- نتایج

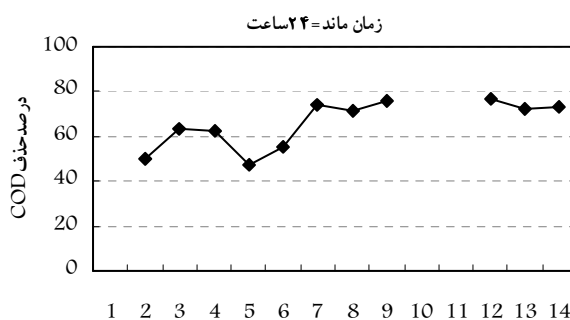
برای کارکرد پایلوت در زمان ماندهای ۸، ۱۲ و ۲۴ ساعت دبی پمپ تنظیمی (ورودی به سیستم) بر روی مقداری مشخص و معلوم ثابت می‌گردید و پس از گذشت چند برابر زمان ماند و پایداری سیستم نمونه برداری آغاز می‌شد.

شکل ۲ میزان تغییرات COD ورودی و خروجی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و شکل ۳ بازده حذف COD محلول را در زمان ماند ۲۴ ساعت و برای نمونه‌گیری‌های متفاوت نشان می‌دهند. در این زمان ماند میزان حذف COD محلول ۷۶/۳ درصد و COD کل ۵۹/۹۳ درصد می‌باشد. برای همین زمان ماند BOD محلول از ۲۴۱ به ۲۳ میلی‌گرم بر لیتر و BOD کل از ۳۲۷ به ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش می‌یابد (۹۰/۴۵ درصد برای حذف BOD محلول و ۸۱/۶۵ درصد برای BOD کل).

در زمان ماند ۱۲ ساعت MBBR قادر است مقدار COD محلول را از ۵۲۳ به ۲۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و COD کل را از ۸۱۰ به ۴۴۶ میلی‌گرم بر لیتر کاهش دهد (۵۰/۶۷ درصد برای حذف COD کل و ۵۷/۹۳ درصد برای حذف COD محلول). در



شکل ۲- غلظت COD محلول ورودی و خروجی در زمان ماند ۲۴ ساعت



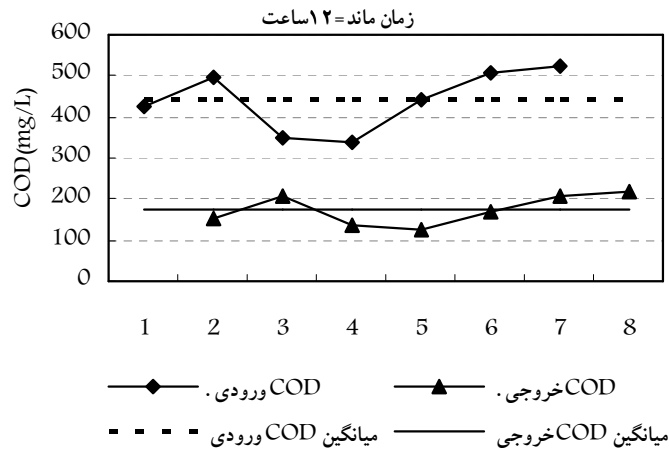
شکل ۳- درصد حذف COD محلول در زمان ماند ۲۴ ساعت

اما با توجه به شیب خطوط حساسیت سیستم نسبت به تغییرات زمان ماند در زمانهای ماند بالا (حد فاصل ۱۲ تا ۲۴ ساعت) کمتر از زمانهای ماند پایین (۸ تا ۱۲ ساعت) است. از آنجا که یک سیستم تصفیه مناسب باید علاوه بر کارکرد مناسب و بهینه در شرایط عادی، قابلیت تحمل شوک‌های مختلف را نیز داشته باشد. هدف دیگر این مطالعات بررسی عملکرد MBBR در برابر شوک‌های مختلف است. برای اعمال شوک هیدرولیکی بر روی سیستم درحالی که پایلوت در زمان ماند ۲۴ ساعت کار می‌کرد، برای مدت ۷ ساعت دبی راکتور به گونه‌ای تنظیم شد که زمان ماند در این مدت ۱۲ ساعت باشد. پس از اعمال شوک بر روی سیستم هر سه ساعت یک بار نمونه‌گیری انجام گردید و COD ورودی و خروجی محاسبه شد. قبل از اعمال شوک درصد حذف COD تقریباً معادل ۷۰ درصد و پس از اعمال شوک و گذشت ۶ ساعت از زمان اولیه اعمال شوک، درصد حذف شروع به نوسان و کاهش نمود به گونه‌ای که درصد حذف به مقدار کمینه ۵۱/۵ درصد رسید. اما پس از گذشت ۱۸ ساعت از برداشتن شوک از ورودی،

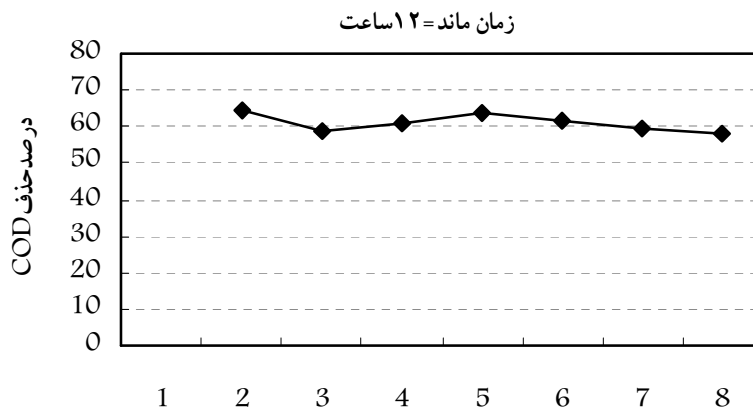
این زمان ماند درصد حذف BOD کل ۶۸/۹۵ درصد و BOD محلول ۷۴/۶۳ درصد می‌باشد. شکل ۴ تغییرات COD ورودی و خروجی را برای این زمان ماند و بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و شکل ۵ بازده حذف COD محلول را نشان می‌دهد (محور افقی شکلها، نمونه‌گیری‌های متفاوت می‌باشد).

در زمان ماند ۸ ساعت نیز MBBR قادر به حذف ۳۹ درصد COD کل و ۴۳/۳ درصد COD محلول است. همچنین BOD کل از ۹۳۴ به ۴۴۶ میلی‌گرم بر لیتر کاهش می‌یابد. تغییرات COD محلول ورودی و خروجی برای این زمان ماند در شکل ۶ و بازده حذف سیستم در شکل ۷ آمده است. در شکل ۸ درصد حذف پارامترهای مختلف در زمانهای ماند متفاوت بررسی شده است.

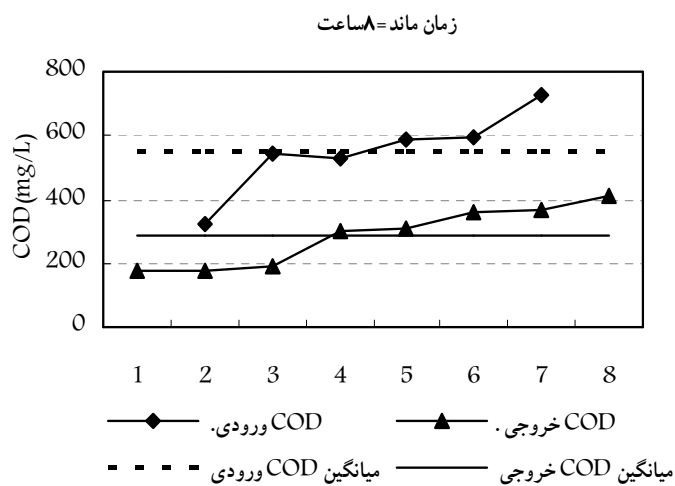
دیگر آزمایش انجام گرفته بر روی این پایلوت بررسی اثرات زمان ماند بر درصد حذف مواد آلی است. شکل ۹ بیانگر این تغییرات بوده و در آن برای دو غلظت ۵۰۰ و ۳۳۰ میلی‌گرم بر لیتر اثر تغییرات زمان ماند بین ۸ تا ۲۴ ساعت مشاهده می‌شود. بر اساس این شکل، درصد تصفیه با افزایش زمان ماند افزایش می‌یابد



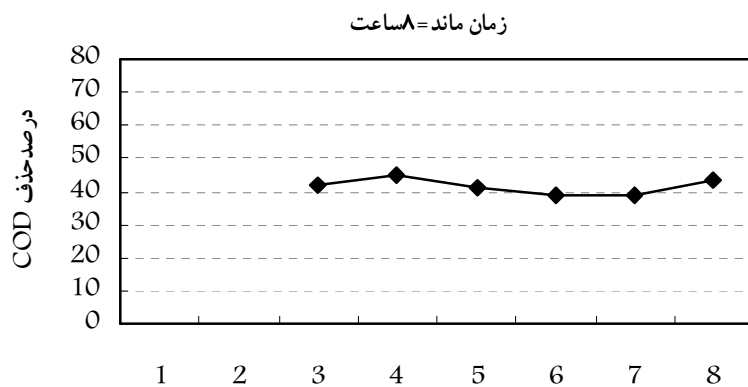
شکل ۴- غلظت COD محلول ورودی و خروجی در زمان ماند ۱۲ ساعت



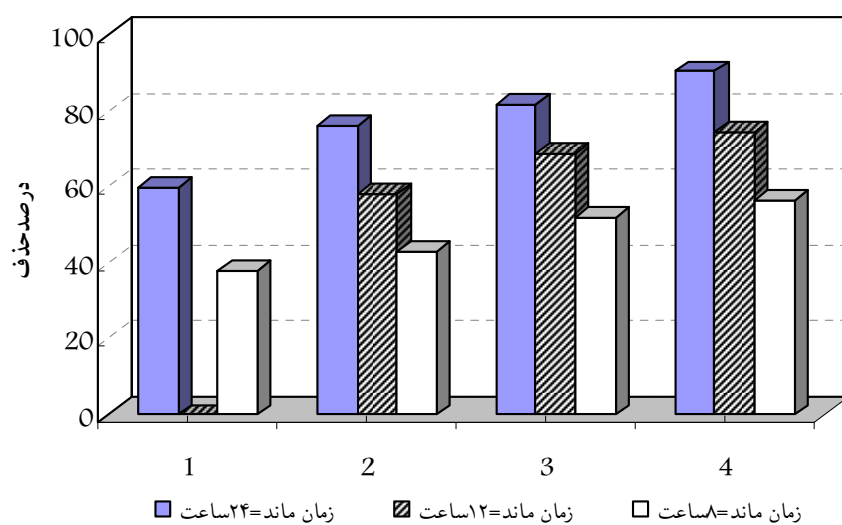
شکل ۵- درصد حذف COD محلول در زمان ماند ۱۲ ساعت



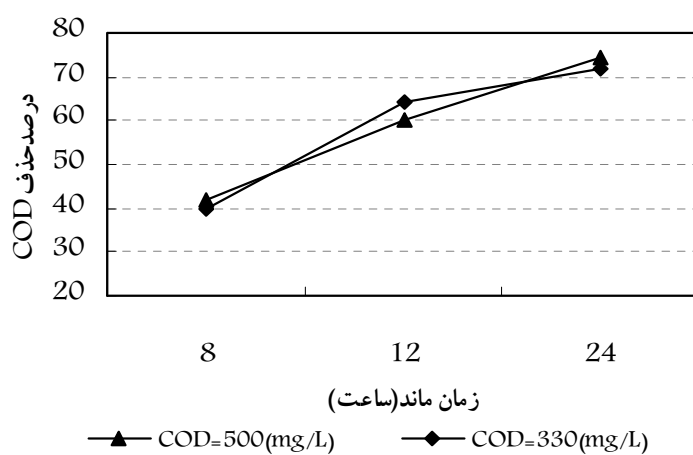
شکل ۶- غلظت COD محلول ورودی و خروجی در زمان ماند ۸ ساعت



شکل ۷- درصد حذف COD محلول در زمان ماند ۸ ساعت



شکل ۸- درصد حذف پارامترهای مختلف در زمانهای ماند متفاوت



شکل ۹- درصد حذف COD محلول در زمانهای ماند مختلف و برای غلظتهای متفاوت فاضلاب ورودی

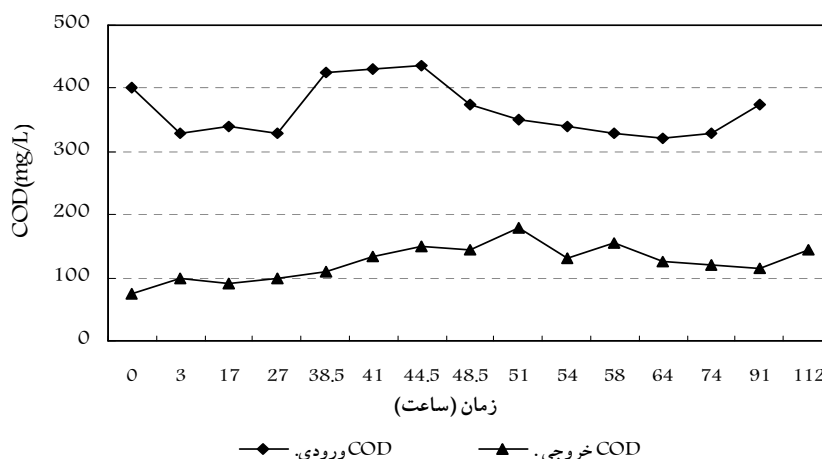
۱۰ روز به میزان ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش می‌یابد در حالی که مقدار COD خروجی از MBBR در زمان ماند ۱۲ و ۲۴ ساعت (زمان ماند واقعی ۳/۶ و ۷/۲ ساعت) و بدون سیستم ته نشینی در حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است. در زمان ماند ۸ ساعت (زمان ماند واقعی ۲/۴ ساعت) COD خروجی از MBBR در حد متوسط ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است که با توجه به زمان ماند بسیار پایین و بدون سیستم ته‌نشینی میزان تصفیه قابل قبولی است.

در MBBR به دلیل بیوفیلم تشکیل شده بر روی آکنه‌ها احتیاج به برگشت لجن نبوده و همین عامل سبب کاهش مشکلات عملیاتی این سیستم است. در پایلوت MBBR نسبت MLSS چسبیده به معلق در حدود ۵ محاسبه گردید.

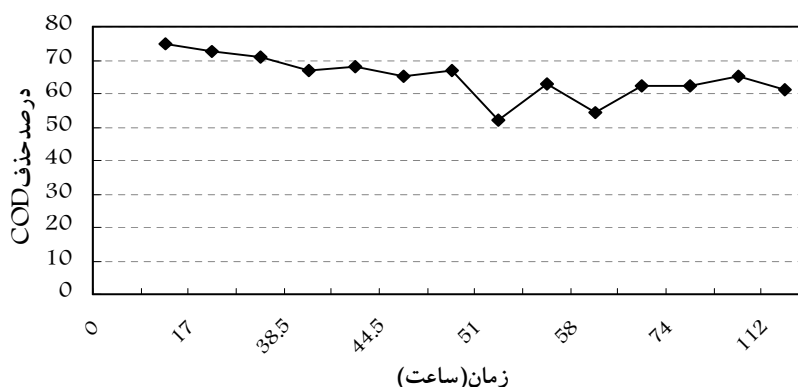
سیستم دوباره به حالت پایدار رسیده و درصد حذف COD آن معادل ۶۲ درصد گردید. قابل ذکر است که خروجی سیستم قبل از اعمال شوک معادل ۱۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و پس از اعمال شوک به مقدار بیشینه ۱۸۶ میلی‌گرم بر لیتر و در نهایت به مقدار متوسط ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر رسید. روند تغییرات COD ورودی و خروجی و تغییرات درصد حذف COD محلول در زمان اعمال شوک هیدرولیکی در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ و برحسب نمونه‌گیری‌های مختلف در ساعات مختلف پس از اعمال شوک قابل ملاحظه می‌باشد.

#### ۴- نتیجه گیری

COD فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه پرکنندآباد پس از طی مراحل ماند لاکون هوادهی، ته نشینی، کلرزی و با زمان ماند متوسط



شکل ۱۰- تغییرات COD ورودی و خروجی در زمان اعمال شوک هیدرولیکی



شکل ۱۱- تغییرات درصد حذف COD محلول در زمان اعمال شوک هیدرولیکی



شود چنانچه هوادهی سیستم قطع نگردیده باشد به راحتی می‌توان آن را به صورت پیوسته در آورد و دوباره از راکتور استفاده نمود.

این سیستم قابلیت مطلوبی برای تحمل شوک‌های متفاوت دارد و همین مسئله یکی از مزایای استفاده از این فرآیند برای فاضلابهایی است که کیفیت و کمیت آنها در طول شبانه روز متغیر است.

با توجه به بررسی‌ها و تحلیلهای انجام شده مدل هیدرولیکی استور و کین کانون<sup>۱</sup> و مدل بیوفیلمی هارموس<sup>۲</sup> برای توضیح عملکرد این پایلوت MBBR مدل‌های مناسبی می‌باشند. در صورتی که به هر دلیلی برای مدتی MBBR از خط خارج

---

<sup>1</sup> Stover & Kincannon  
<sup>2</sup> Harremoes

## ۵- مراجع

- 1- Rusten, B., and Odegaard, H. (1994). "A new MBBR application and results." *Wat. Sci. Tech.*, 29 (10-11), 157-165.
- 2- Rusten, B., and Johnson, H. (1999). "Biological pretreatment of a chemical plant wastewater in high-rate MBBR." *Wat. Sci. Tech.*, 39 (10-11), 257-264.