

# بررسی عملکرد راکتور بی‌هوازی هیبرید در تصفیه‌ی بیولوژیکی شیرابه‌ی پسماندهای جامد شهری مطالعه‌ی موردی: محل دفن زباله کهریزک

مهرداد مهدی\* (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

سید جمال‌الدین هاشمیان (دانشیار)

ایوب ترکیان (دانشیار)

مرکز تحقیقات آب و انرژی، دانشگاه صنعتی شریف

مهندسی عمران شریف  
دوره‌ی ۲-۱۴۹، شماره‌ی ۱، ص. ۱۴۸-۱۴۱، (پادداشت نشی)

عدم رعایت ضوابط مهندسی در دفن پسماندها دارای عواقب زیست محیطی مخاطره‌آمیزی مانند آلودگی ناشی از نشت شیرابه به آب‌های زیرزمینی و سطحی، و آلودگی خاک است. در این تحقیق، عملکرد راکتور هیبرید بی‌هوازی با حجم مؤثر ۱۵۹ لیتر و دارای سیستم نگهداشت خارجی لجن در تصفیه‌ی شیرابه‌ی مرکز دفن کهریزک مورد بررسی قرار گرفت. با ثابت نگه‌داشتن زمان ماند هیدرولیکی در ۲/۷ روز و رقیق‌سازی شیرابه، غلظت SCOD<sup>۱</sup> ورودی به‌صورت پله‌یی از ۹/۲ به ۶۷/۲ گرم بر لیتر افزایش داده شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، تغییرات pH در محدوده‌ی ۷-۷/۸ و بیشینه‌ی بازده حذف SCOD حدود ۹۵٪ در بارگذاری ۸/۱-۹/۷ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز مشاهده شد. در بالاترین نرخ بارگذاری معادل ۲۴/۹ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز که شیرابه بدون رقیق‌سازی به داخل راکتور تزریق شد، بازده حذف SCOD برابر ۷۶/۳٪ حاصل شد.

واژگان کلیدی: تصفیه‌ی بی‌هوازی، شیرابه، پسماند جامد شهری، راکتور بی‌هوازی هیبرید.

## ۱. مقدمه

رشد جمعیت بشر، رشد سطح رفاه، و تعدد و تنوع محصولات تولیدشده موجب افزایش پسماندهای جامد شهری در جهان امروز شده است. روش اصلی دفع پسماندها در ایران نیز مانند سایر کشورهای در حال توسعه، دفن است. دفن پسماندها اگر چه روشی است که به لحاظ هزینه و سادگی فناوری نسبت به سایر روش‌های دفع ترجیح داده می‌شود، در عین حال در صورت عدم رعایت ضوابط مهندسی دارای عواقب زیست محیطی مخاطره‌آمیزی مانند آلودگی ناشی از نشت شیرابه به آب‌های زیرزمینی و یا سطحی، و آلودگی خاک است.<sup>[۱]</sup> ترکیب شیرابه‌ی تولیدشده در محل دفن پسماندهای شهری به عوامل مختلفی از جمله ترکیب پسماندهای جامد، سن مرکز دفن، نحوه‌ی دفن و شرایط جوی بستگی دارد.<sup>[۲]</sup> شیرابه معمولاً حاوی غلظت بالایی از ترکیبات آلی و نیتروژن آمونیاکی است. همچنین در اغلب شیرابه‌ها، مقادیر بالایی از فلزات سنگین و نمک‌های معدنی مشاهده شده است.<sup>[۳]</sup> از این رو، تصفیه‌ی شیرابه قبل از تخلیه به محیط به‌منظور حذف آلاینده‌های آلی و نیتروژن آمونیاکی ضروری به‌نظر می‌رسد.

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۸۹/۶/۱۶، اصلاحیه ۱۳۸۹/۱۲/۱، پذیرش ۱۳۹۰/۶/۱۲.

نکته‌یی که باید مورد توجه قرارگیرد، تفاوت‌های اساسی پسماندهای جامد تولیدی در شهرهای ایران با کشورهای صنعتی است.<sup>[۱]</sup> ۶۰-۷۰ درصد پسماندهای جامد در ایران از مواد آلی تشکیل شده است که حاصل آن، شکل‌گیری شیرابه دارای غلظت COD<sup>۲</sup> حدود ۲۰۰-۱۰۰ برابر فاضلاب شهری است.<sup>[۴-۵]</sup> از طرف دیگر، نسبت COD به نیتروژن آمونیاکی شیرابه در ایران بسیار بیشتر از مقادیر ذکرشده‌ی مربوط به کشورهای توسعه‌یافته است که نگرانی را بابت حذف نیتروژن آمونیاکی در تصفیه‌ی بیولوژیکی کاهش می‌دهد.<sup>[۱]</sup>

بررسی تحقیقات صورت‌گرفته بر روی تصفیه‌ی شیرابه نشان می‌دهد که روش‌های متنوعی از جمله روش‌های فیزیکوشیمیایی، روش‌های بیولوژیکی مانند UASB<sup>۳</sup> و لجن فعال، فناوری غشایی و غیره مورد استفاده قرار گرفته است. براساس پیشینه‌ی مطالعاتی، روش‌های تصفیه‌ی بیولوژیکی هوازی، فناوری غشایی، و فیزیکوشیمیایی معمولاً برای تصفیه‌ی شیرابه‌های با غلظت کمتر از ۱۰۰/۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده می‌شوند یا اینکه به‌صورت مشترک با روش‌های بی‌هوازی جهت تصفیه‌ی شیرابه‌های با غلظت بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این در حالی است که برای استفاده از روش بی‌هوازی در تصفیه‌ی شیرابه، بازه‌یی بین ۱/۰۰۰ تا ۱۰۰/۰۰۰ میلی‌گرم COD در لیتر مشاهده شده است.<sup>[۸]</sup>

نرخ تولید بیوگاز تولیدی و خصوصیات ویژه بیومس در نرخ‌های بارگذاری آلی مختلف از اهداف این مطالعه بوده است. شایان ذکر است که افزایش بارگذاری از طریق افزایش غلظت COD ورودی و ثابت نگه داشتن زمان ماند هیدرولیکی انجام می‌گیرد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. مشخصات پایلوت

راکتور بی‌هوازی هیبرید (UASB / فیلتر بی‌هوازی) مورد استفاده دارای سطح مقطع مربع شکل به ابعاد  $30 \times 30$  سانتی‌متر، ارتفاع مؤثر  $182$  سانتی‌متر و حجم مؤثر  $15973$  لیتر بود. ارتفاع لایه فیلتر،  $60$  سانتی‌متر و سطح ویژه آکنه‌ی مورد استفاده،  $125$  مترمربع بر مترمکعب و جنس و نوع آن پلاستیکی مورب و موج‌دار در نظر گرفته شد. بدنه‌ی راکتور با استفاده از پشم شیشه پوشانیده شد تا از اتلاف حرارتی جلوگیری شود. چهار شیر نمونه‌برداری برای پایش لجن داخل راکتور (بخش رشد معلق) در نظر گرفته شد. راکتور فاقد سیستم جداکننده‌ی گاز / مایع / جامدات بود.

برای تزریق فاضلاب به داخل راکتور از پمپ دیافراگمی مدل MEMDOS TM-15 ساخت شرکت JESCO استفاده شد. مخزن ته‌نشینی نیز دارای ارتفاع و حجم مؤثر به ترتیب  $5375$  سانتی‌متر و  $6571$  لیتر بود که لجن ته‌نشین شده در آن توسط پمپ دیافراگمی مدل MEMDOS TM-45 ساخت شرکت JESCO به طور پیوسته به داخل راکتور بازگشت داده می‌شد. ابعاد راکتور و دیگر پارامترهای پیلوت و آکنه‌ی مورد استفاده در راکتور به ترتیب در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است.

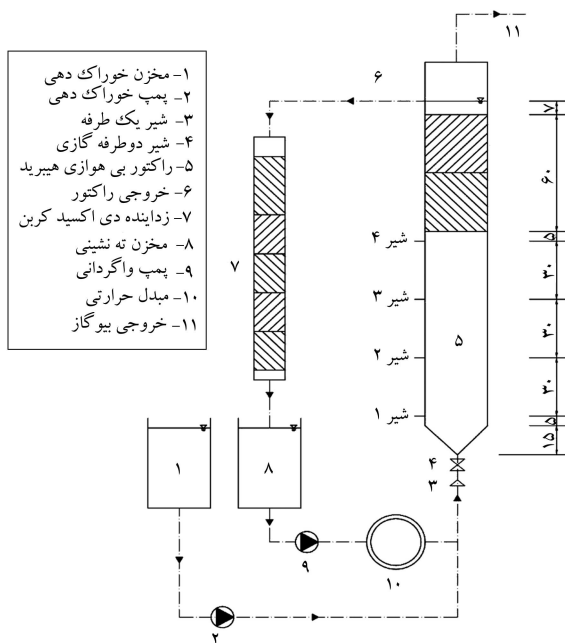
برای تنظیم دمای داخل راکتور بی‌هوازی در محدوده‌ی مزوفیلی ( $2 \pm 35$  درجه‌ی سلسیوس) از یک مبدل حرارتی و جهت کنترل pH نیز از یک «زداینده‌ی دی‌اکسید کربن»<sup>۷</sup> در مسیر جریان واگردانی استفاده شد. برای ساخت زدااینده‌ی دی‌اکسید کربن از یک لوله‌ی PVC به قطر  $15$  سانتی‌متر و ارتفاع  $125$  سانتی‌متر استفاده شد و

روش‌های تصفیه‌ی بی‌هوازی به علت بازده بالا برای فاضلاب‌های دارای COD بالا، قابلیت پذیرش نرخ بارگذاری آلی زیادتر، تولید لجن کمتر، مواد مغذی مورد نیاز کمتر، عدم نیاز به اکسیژن، تولید متان به‌منزله‌ی منبع انرژی، نیاز به زمین کمتر و پایین بودن هزینه‌های ساخت، راه‌اندازی و راهبری مورد توجه هستند.<sup>[۱۰، ۱۱]</sup> در مطالعه‌ی بر روی تصفیه‌ی بی‌هوازی شیرابه با استفاده از یک راکتور UASB که از پر بازده‌ترین روش‌های تصفیه‌ی بی‌هوازی است، تا بارگذاری  $1578$  کیلوگرم COD در مترمکعب در روز، بازده حذف COD همواره بزرگ‌تر از  $95\%$  بوده است؛ اما در بارگذاری‌های بالاتر، بازده حذف شدت افت می‌کند، به طوری که در بارگذاری  $2174$  کیلوگرم COD در مترمکعب در روز به حدود  $55\%$  می‌رسد. کاهش بازده حذف را به افزایش شدید غلظت بیومس در پساب خروجی مربوط دانسته‌اند.<sup>[۱۱]</sup>

راکتور بی‌هوازی هیبرید<sup>۴</sup> یکی از انواع راکتورهای بی‌هوازی است که ترکیبی از UASB در بخش تحتانی و یک فیلتر بی‌هوازی<sup>۵</sup> در بخش فوقانی است. در این نوع راکتور، فیلتر علاوه بر نگهداشت لجن دارای فعالیت بیولوژیکی است، که می‌تواند در حذف COD در ناحیه‌ی بی‌UASB متداول فاقد بیومس<sup>۶</sup> است، مؤثر باشد. راکتورهای بی‌هوازی هیبرید به دو صورت مورد مطالعه قرار گرفته‌اند: ۱. دارای جداکننده‌ی گاز / مایع / جامدات، و ۲. فاقد جداکننده. در نوع اول، میزان جامدات معلق خروجی کمتری قابل دستیابی است، ولی ناحیه‌ی فیلتر تقریباً بدون استفاده می‌ماند. در طرح دوم، ایراد اصلی ناشی از فرار بیش از حد است که می‌تواند با بیومس لخته‌ی و در نرخ بارگذاری بالا روی دهد و نرخ قابل اعمال را محدود کند.<sup>[۱۲]</sup> مطالعه‌ی دیگری نشان می‌دهد که هر چه میزان لایه‌ی فیلتر بیشتر باشد، ظرفیت نگهداشت بیومس نیز بیشتر خواهد بود.<sup>[۱۳]</sup> نسبت  $20\%$  ناحیه‌ی فیلتر به کل حجم راکتور بهترین نتیجه را به دنبال خواهد داشت.<sup>[۱۴]</sup> برخلاف راکتور UASB که بیومس فعال آن به صورت یکنواخت تا نیمه‌های ارتفاع راکتور توزیع می‌شود، در راکتور بی‌هوازی هیبرید و فیلتر بی‌هوازی، بیومس فعال در کف راکتور تجمع می‌یابد. در پژوهشی نیز غلظت COD ورودی در ارتفاع  $20$  سانتی‌متری از کف راکتور بی‌هوازی هیبرید و فیلتر بی‌هوازی، از  $16000$  به  $5000$  میلی‌گرم بر لیتر رسیده است، در حالی‌که در راکتور UASB، غلظت  $5000$  میلی‌گرم بر لیتر در ارتفاع  $50$  سانتی‌متری مشاهده شده است.<sup>[۱۵]</sup>

استفاده از سیستم نگهداشت خارجی لجن به منظور جلوگیری از هدررفت بیومس در راکتورهای UASB توصیه شده است. استفاده از مخزن ته‌نشینی خارجی و واگردانی لجن به داخل راکتور باعث نگهداشت بهتر لجن در سیستم تصفیه می‌شود و از فرار بیومس فعال در راکتورهای بی‌هوازی جلوگیری می‌کند. به علاوه، وجود جریان واگردانی دارای فوایدی از جمله کاهش حجم راکتور، رقیق‌سازی COD ورودی، حذف یا صرفه‌جویی در مواد شیمیایی خنثی‌کننده‌ی محیط، کاهش توان سمی فاضلاب ورودی و بهبود تماس بین بیومس و فاضلاب است.<sup>[۱۶، ۱۷]</sup>

در این مطالعه، عملکرد راکتور هیبرید بستر لجن و فیلتر بی‌هوازی دارای سیستم خارجی ته‌نشینی و واگردانی لجن (مخزن ته‌نشینی + پمپ واگردانی لجن) در تصفیه‌ی بی‌هوازی شیرابه‌ی مرکز دفن کهریزک در مقیاس پایلوت مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی مطالعات پیشین، تحقیقی که سیستم مذکور در آن استفاده شده باشد، رؤیت نشد. بررسی تصفیه‌پذیری بیولوژیکی بی‌هوازی شیرابه‌ی بدون رقیق‌سازی و پیش تصفیه، مطالعه‌ی تأثیر تغییرات نرخ بارگذاری آلی بر بازده حذف COD با ثابت در نظر گرفتن نسبت جریان واگردانی و دما، و مطالعه‌ی تغییرات



شکل ۱. شماتیک و نمودار جریان پایلوت (اندازه‌ها به سانتی‌متر است).

مقادیر ارائه شده در جدول ۱ مربوط به شیرابه‌ی تازه است، ولی در شیرابه‌ی کهنه به دلیل وقوع فرآیندهای بیولوژیکی و تجزیه‌ی اسیدهای چرب فرار در طول زمان، کاهش تجزیه‌پذیری بیولوژیکی و افزایش pH مشاهده می‌شود. افزایش pH در شیرابه‌ی کهنه منجر به رسوب بخشی از مواد محلول به صورت نمک خواهد شد.



شکل ۲. آکنه‌ی مورد استفاده در راکتور بی‌هوازی هیبرید.

### ۳.۲. راه‌اندازی و راهبری

لجن تلقیحی اولیه، ترکیبی بود از لجن هضم (بی‌هوازی) شده‌ی تصفیه‌خانه‌ی کارخانه‌ی لبنیات و لجن یک پابلوت سپتیک تانک که در مطالعه‌ی مقدماتی تصفیه‌ی بی‌هوازی شیرابه استفاده شده بود. مجموعاً حدود ۶۷٪ راکتور به وسیله‌ی لجن تلقیحی پر شد. مشخصات لجن‌های تلقیحی در جدول ۲ آمده است.

راکتور در دوره‌ی راه‌اندازی به صورت ناپیوسته تحت بارگذاری قرار گرفت و بارگذاری طی ۳ مرحله از ۲/۰ به ۳/۱ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز افزایش یافت. در طول این دوره، دما در محدوده‌ی ۳۶-۳۳ درجه‌ی سلسیوس حفظ شد. دوره‌ی راهبری دارای ۸ مرحله بود که در طول آن، راکتور به صورت پیوسته راهبری شد. با ثابت نگه‌داشتن زمان ماند هیدرولیکی در ۲/۷ روز و با رقیق‌سازی شیرابه، بارگذاری به صورت پله‌یی از ۳/۴ به ۲۴/۹ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز افزایش یافت و در بارگذاری ۲۴/۹ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز، شیرابه‌ی بدون رقیق‌سازی وارد راکتور شد. دبی جریان ورودی، دبی جریان واگردانی و سرعت رو به بالا به ترتیب ۵۹ لیتر در روز، ۲۱۶ لیتر در روز و ۰/۱۳ متر بر ساعت در نظر گرفته شد. دمای راکتور تا بارگذاری ۸/۱ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز در محدوده‌ی ۳۶-۳۳ درجه‌ی سلسیوس حفظ شد. در بارگذاری‌های بالاتر از ۸/۱ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز، به علت خرابی میدل حرارتی، ادامه‌ی مطالعات در دمای طبیعی محیط ادامه یافت که دمای فاضلاب، ۳۱-۲۸ درجه‌ی سلسیوس ثبت شد.

در هر دو دوره‌ی راه‌اندازی و راهبری جهت تأمین نیتروژن و فسفر مورد نیاز از کود فسفات آمونیوم استفاده شد که با در نظر گرفتن ۱:۵:۵۰ برای نسبت COD: نیتروژن: فسفر، مقدار کود مورد نیاز محاسبه شد.

### ۴.۲. روش‌های اندازه‌گیری

اندازه‌گیری‌های فیزیکی و شیمیایی مانند pH، دما، COD، SS<sup>A</sup>، VSS<sup>A</sup>، نیتروژن آمونیاکی، فسفر کل، سولفات، فلزات سنگین با استفاده از روند ذکر شده در کتاب روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب انجام شد.<sup>[۱۸]</sup> COD محلول نمونه به روش رفلاکس بسته و پس از سانتریفوژ کردن و گذراندن نمونه‌ی پساب از کاغذ صافی اندازه‌گیری شد. حجم گاز نیز به روش تغییرات حجم مایع (آب) اندازه‌گیری شد.

جدول ۲. خصوصیات لجن‌های تلقیحی اولیه.

لجن	حجم تقریبی (لیتر)	SS (گرم بر لیتر)	VSS* (گرم بر لیتر)
سپتیک تانک	۴۵	۵۹/۶	۲۱/۴
تصفیه‌خانه لبنیات	۴۵	۴۱/۹	۲۲/۱

\* volatile suspended solids

داخل آن به ارتفاع ۱۱۰ سانتی‌متر آکنه قرار داده شد؛ آکنه‌ی مورد استفاده از همان نوعی بود که در راکتور استفاده شده بود.

هر چند در طول دوره‌ی راهبری، رشد بیوفیلم بر روی آکنه‌ی موجود در زداينده‌ی دی‌اکسیدکربن مشاهده شد. اما زداينده‌ی دی‌اکسیدکربن فقط جهت کنترل pH مورد استفاده قرار گرفت. وجود زداينده‌ی دی‌اکسید کربن باعث می‌شد که بخشی از دی‌اکسیدکربن محلول در جریان واگردانی، حذف و pH آن بهبود یابد که این موضوع در نهایت می‌توانست منجر به افزایش pH در راکتور شود. شایان ذکر است که بخش عمده‌ی دی‌اکسیدکربن محلول در جریان واگردانی در اثر فرآیند تصفیه‌ی بی‌هوازی داخل راکتور به وجود می‌آید.

### ۲.۲. شیرابه

مشخصات شیرابه‌ی مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به جدول ۱، یکی از فاکتورهای اصلی آلاینده‌ی شیرابه، COD است که حدود ۱۰۰ برابر غلظت آن در فاضلاب شهری است و علت آن، مهاجرت مواد آلی به ویژه اسیدهای چرب فرار از پسماندهای دفن شده به داخل شیرابه است. pH شیرابه نیز در محدوده‌ی اسیدی قرار دارد که می‌تواند نشانه‌یی از غلظت بالای اسیدهای چرب فرار در شیرابه باشد. غلظت نیتروژن آمونیاکی و فسفر نسبت به فاضلاب شهری بیشتر است، اما در مقایسه با مقدار COD شیرابه، دارای غلظت بسیار کمی هستند و می‌توانند به منزله‌ی عامل محدوده‌کننده در تصفیه‌ی بیولوژیکی شیرابه به شمار آیند. غلظت بالای سولفات شیرابه که حدود ۱۰-۶۰ برابر فاضلاب شهری است، می‌تواند منجر به گسترش باکتری‌های کاهش‌دهنده‌ی سولفات در طول فرآیند تصفیه‌ی بیولوژیکی شود.

جدول ۱. برخی خصوصیات شیمیایی شیرابه‌ی تازه‌ی کهریزک.

پارامتر	محدوده
COD (mg/l)	۴۵۴۰۰-۶۷۴۵۰
SS* (mg/l)	۲۵۶۵-۴۵۳۸
pH	۴/۸-۵/۹
نیتروژن آمونیاکی (mg/l)	۷۵۰-۱۴۰۰
فسفر کل (mg/l)	۴۴-۸۱
سولفات (mg/l)	۱۸۶۷-۲۳۴۰

\* suspended solids

جدول ۳. برخی شرایط دوره راه‌اندازی.

مرحله	روز	دما (°C)	SCOD ورودی (mg l <sup>-1</sup> )	زمان ماند هیدرولیکی (روز)	نرخ بارگذاری آلی (kg SCOD m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	pH	بازده حذف SCOD (%)
۱	۱-۲۲	۳۳-۳۵	۴۹۰۰	۲۲	۰٫۲	۷٫۲-۸٫۱	۷۳٫۵
۲	۲۳-۴۳	۳۳-۳۵	۱۱۲۱۸	۴	۲٫۲	۷٫۲-۸	۸۴٫۱
۳	۴۴-۶۶	۳۳-۳۵	۱۵۵۶۴	۴	۳٫۱	۷٫۱-۸٫۱	۸۶٫۸

جدول ۴. شرایط دوره راهبری.

مرحله	روز	میانگین SCOD ورودی (میلی‌گرم بر لیتر)	بارگذاری آلی (کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز)
شروع	۱-۸	۱۵۳۰	۰٫۶
۱	۹-۲۴	۹۱۶۰	۳٫۴
۲	۲۵-۳۷	۱۳۵۷۰	۵
۳	۳۸-۴۷	۲۱۸۴۰	۸٫۱
۴	۴۸-۶۷	۲۶۳۰۰	۹٫۷
۵	۶۸-۸۸	۳۵۰۳۰	۱۳
۶	۸۹-۹۹	۴۱۲۷۰	۱۵٫۳
۷	۱۰۰-۱۱۶	۵۵۴۰۰	۲۰٫۵
۸	۱۱۷-۱۲۶	۶۷۱۷۰	۲۴٫۹

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. دوره راه‌اندازی

برخی شرایط دوره راه‌اندازی در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تغییرات pH پساب خروجی در طول دوره راه‌اندازی در محدوده ۷٫۱-۸٫۲ قرار دارد که نشان‌دهنده عملکرد مطلوب سیستم است. به نظر می‌رسد که مقادیر pH بالای به دست آمده مربوط به استفاده از زاینده‌ی دی‌اکسیدکربن باشد. هر چند که هدف از کاربرد زاینده‌ی دی‌اکسیدکربن، تصفیه بیولوژیکی فاضلاب نبود، اما بیومس رشد یافته بر روی آکنه‌ی به کار برده شده در زاینده‌ی دی‌اکسیدکربن قابل مشاهده بود. در پایان این دوره، گرادیان غلظت لجن در ارتفاع راکتور قابل مشاهده بود، به طوری که غلظت لجن در شیر ۱ و شیر ۴ به ترتیب برابر ۱۹٫۲ و ۳٫۷ گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد.

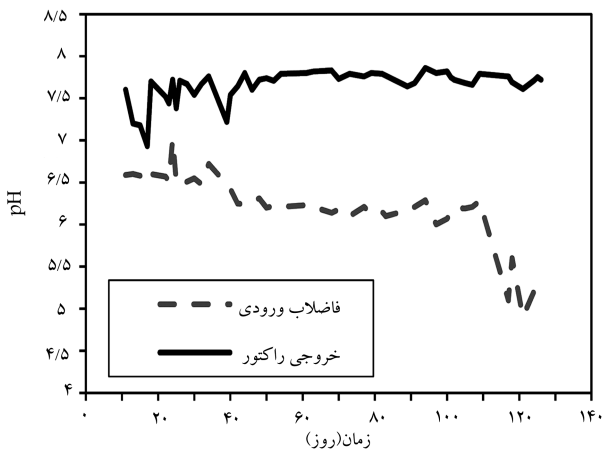
#### ۳.۲. دوره راهبری

در شروع دوره راهبری و جهت جلوگیری از اتلاف انرژی و کاهش نرخ تشکیل رسوبات معدنی که موجب گرفتگی در مجاری سیستم می‌شوند، زاینده‌ی دی‌اکسیدکربن از سیستم حذف شد.

نکته‌ی دیگری که باید اشاره شود، شوک هیدرولیکی است، که به طور سهوی در انتهای مرحله‌ی پنجم به وقوع پیوست. در اثر این اشتباه، دبی جریان واگردانی به مدت ۲ ساعت به حدود ۳ برابر افزایش یافت. در نتیجه سرعت رو به بالای جریان در داخل راکتور از ۰٫۱۳ متر بر ساعت به حدود ۰٫۳۳ متر بر ساعت افزایش پیدا کرد. پس از حادثه‌ی شوک هیدرولیکی و جهت بهبود وضعیت راکتور، کل لجن داخل مخزن ته‌نشینی به داخل راکتور تزریق شد که این لجن، مجموع لجن فرار کرده در اثر شوک هیدرولیکی در انتهای مرحله‌ی پنجم و لجن اولیه‌ی بود که در طول مراحل قبلی در مخزن ته‌نشینی تجمع کرده بود. سپس راکتور به مدت ۲ روز خاموش شد. پس از انجام عملیات مذکور، مجدداً راکتور با بارگذاری ۱۵٫۳ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز راه‌اندازی شد. دوره راهبری مجموعاً ۱۲۶ روز به طول انجامید. شرایط دوره راهبری در جدول ۴ ارائه شده است.

#### ۳.۲.۳. تغییرات pH

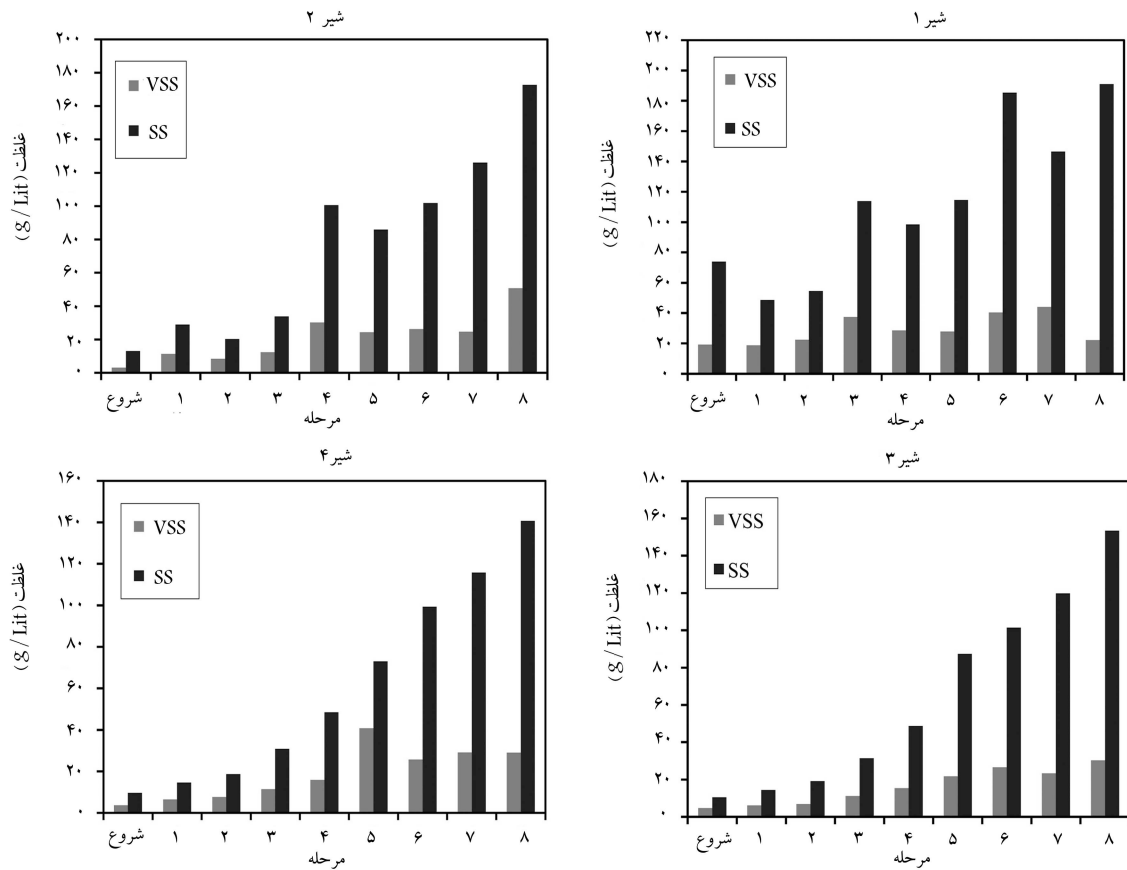
مطابق شکل ۳، pH پساب خروجی راکتور در ابتدای دوره راهبری دارای دامنه‌ی نوسان بیشتری است که علت آن می‌تواند تغییر نحوه‌ی بارگذاری راکتور از حالت ناپیوسته در دوره راه‌اندازی به حالت پیوسته در دوره راهبری و همچنین حذف زاینده‌ی دی‌اکسیدکربن از سیستم باشد. در ادامه، دوره راهبری به علت کاهش رقیق‌سازی شیرابه، pH فاضلاب ورودی به راکتور کاهش یافت، اما با این وجود، دامنه‌ی نوسانات pH پساب خروجی راکتور نیز کاهش یافت. به طور کلی pH پساب خروجی راکتور تا انتهای دوره راهبری افزایش یافت.



شکل ۳. تغییرات pH در طول دوره راهبری.

#### ۳.۲.۳. پروفیل لجن در ارتفاع راکتور

با توجه به شکل ۴ می‌توان گفت که تا انتهای مرحله‌ی چهارم و همچنین در پایان مراحل شش و هفت، غلظت VSS لجن که نشان‌دهنده جمعیت میکروبی است، در تراز شیر ۱ نسبت به ترازهای دیگر بیشتر است. پس از شوک هیدرولیکی در انتهای مرحله‌ی پنجم، پروفیل لجن از حالت قبلی خارج شده است. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، در حالی که غلظت VSS در شیرهای ۱، ۲ و ۳ در حدود ۲۵-۲۰ گرم بر لیتر است و در شیر ۴ به حدود ۴۰ گرم بر لیتر رسیده است. با این وجود، غلظت SS در تراز شیر ۱ همچنان از شیرهای دیگر بیشتر است. می‌توان نتیجه گرفت که بخش فرار بستر لجن (VSS) از کف راکتور به زیر لایه‌ی فیلتر حرکت کرده است. با وجود اینکه لایه‌ی فیلتر در برابر شوک هیدرولیکی توانسته است از فرار



شکل ۴. تغییرات غلظت لجن در ارتفاع راکتور در طول دوره‌ی راهبری.

راکتور به ۷۲۳ میلی‌گرم در لیتر در شیر ۱ کاهش می‌یابد و در شیر ۴ نیز به ۷۱۴ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. شایان ذکر است که میانگین غلظت SCOD شیرابه‌ی رقیق‌شده در مرحله‌ی نخست در مخزن خوراک‌دهی حدود ۹۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر بوده است، اما وجود جریان واگردانی (با غلظت ۷۵۱ میلی‌گرم SCOD در لیتر و دبی ۲۱۶ لیتر در روز) باعث رقیق‌سازی مجدد شیرابه‌ی رقیق‌شده می‌شود.

### ۳.۲.۳. زمان ماند جامدات

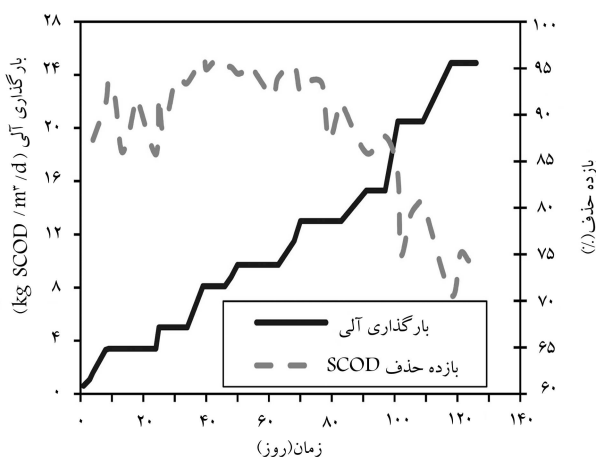
روند افزایشی غلظت VSS در تراز شیر ۴، و پساب خروجی از راکتور و مخزن ته‌نشینی در شکل ۵ قابل مشاهده است. با توجه به ثابت بودن زمان ماند هیدرولیکی، به نظر می‌رسد که عامل مؤثر در افزایش VSS خروجی از راکتور و تراز شیر ۴، افزایش نرخ تولید بیوگاز ناشی از افزایش نرخ بارگذاری آلی باشد که (در شرایط استاندارد دما و فشار) از ۰٫۱۹ مترمکعب در روز در مرحله‌ی نخست بارگذاری به ۱٫۲۹ مترمکعب در روز در مرحله‌ی آخر افزایش یافته است. بیوگاز باعث اغتشاش بیشتر در داخل راکتور و در نتیجه جدایی بیشتر ذرات لجن از بستر لجن می‌شود،<sup>[۱۶]</sup> و در نهایت ذرات لجن شناور شده همراه با پساب خروجی از راکتور فرار می‌کنند. نکته‌یی که باید به آن توجه داشت، افزایش ناگهانی غلظت VSS در پساب خروجی راکتور بعد از شوک هیدرولیکی رخ داده در انتهای مرحله‌ی پنجم است. به نظر می‌رسد که ساختار قبلی لجن که به مرور در طول دوره‌ی راه‌اندازی و راهبری شکل گرفته بود، از بین رفته است و ساختار جدید لجن که به صورت مصنوعی ایجاد شده است، قابلیت نگهداری لجن کمتری دارد.

علی‌رغم غلظت بالای VSS در پساب خروجی راکتور، وجود سیستم جداسازی

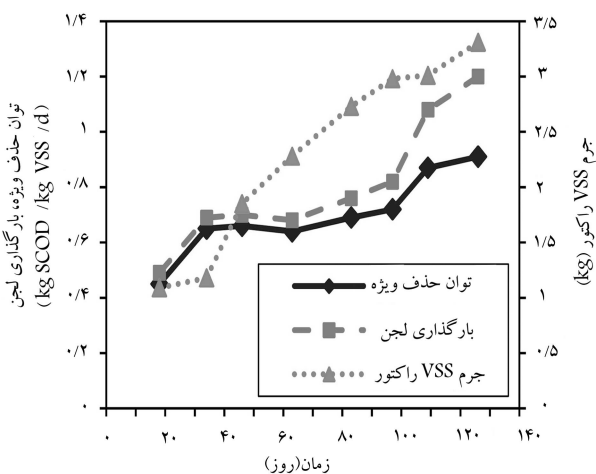
بخشی از VSS لجن جلوگیری کند (به طوری که غلظت VSS در زیر لایه‌ی فیلتر و در پساب خروجی از راکتور به ترتیب ۴۰٫۸ گرم بر لیتر و ۸٫۹ گرم بر لیتر بوده است)، حادثه‌ی رخ داده نشان داد که راکتور دارای توانایی پذیرش شوک هیدرولیکی نیست. کوتاه بودن زمان ماند هیدرولیکی واقعی راکتور (۱۳٫۹ ساعت) نسبت به زمان ماند هیدرولیکی ظاهری راکتور (۲٫۷ روز) باعث شده است که «ظرفیت متعادل‌سازی» شوک‌های وارده کاهش یابد.

در مرحله‌ی آخر، غلظت VSS در شیرهای ۲، ۳ و ۴ از شیر ۱ پیشی گرفته است و این در حالی است که مقدار SS در شیر ۱ همچنان از شیرهای ۲، ۳ و ۴ بیشتر است. این موضوع نشان می‌دهد که بیومس تجمع‌یافته در کف راکتور در حال حرکت به سمت لایه‌ی فیلتر است. این احتمال وجود دارد که در بارگذاری ۲۴٫۹ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز و بیشتر در درازمدت، جرم VSS در بستر و در نهایت در کل راکتور کاهش یابد و در نتیجه راکتور رو به زوال گذارد. به نظر می‌رسد که شوک هیدرولیکی رخ داده در انتهای مرحله‌ی پنجم و افزایش نرخ تولید بیوگاز به بیشینه‌ی مقدار خود در طول دوره‌ی راهبری ۱٫۲۹ مترمکعب در روز (در شرایط استاندارد فشار و دما)، باعث جدایی میان جمعیت میکروبی و ترکیبات غیرمیکروبی (معدنی) در بستر لجن شده باشد.

نکته‌ی دیگری که قابل ملاحظه است، تجمع جمعیت میکروبی در مناطق تحتانی راکتور (شیر ۱) است که باعث شده است تا غالب فرآیند تجزیه‌ی بی‌هواری در این مناطق انجام پذیرد. بر این اساس، غلظت SCOD شیرابه‌ی رقیق‌شده‌ی ورودی در مرحله‌ی نخست دوره‌ی راهبری از ۲۵۵۵ میلی‌گرم در لیتر در ورودی



شکل ۶. تغییرات نرخ بارگذاری آلی و بازده حذف در طول دوره‌ی راهبری.



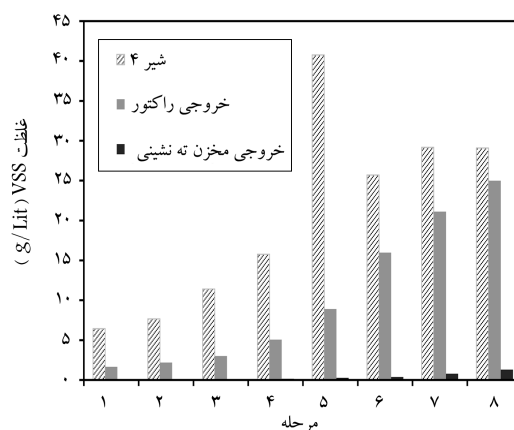
شکل ۷. تغییرات توان حذف ویژه، نرخ بارگذاری لجن و جرم VSS کل لجن راکتور طول دوره راهبری.

نداشته است.

از مرحله‌ی ششم به بعد، جرم VSS لجن راکتور در حدود ۳ کیلوگرم ثابت مانده است و افزایش نرخ بارگذاری آلی (از طریق افزایش غلظت ورودی) باعث شده است که نرخ بارگذاری لجن افزایش یابد. با ثابت ماندن جرم VSS، بیومس موجود نیز در جهت افزایش توان حذف ویژه، حرکت کرده است؛ اما افزایش توان حذف ویژه متناسب با افزایش نرخ بارگذاری لجن نبوده است، به طوری که اختلاف میان نرخ بارگذاری لجن و توان حذف ویژه از ۰/۳ کیلوگرم SCOD بر کیلوگرم VSS در روز در انتهای مرحله‌ی چهارم به ۰/۳ کیلوگرم SCOD بر کیلوگرم VSS در روز در انتهای مرحله‌ی هشتم افزایش پیدا کرده است.

این دلایل در بیان علت افزایش اختلاف میان نرخ بارگذاری لجن و توان حذف ویژه بیومس، به خصوص در سه مرحله‌ی آخر به نظر می‌رسد:

۱. در انتهای مرحله‌ی پنجم، شوک هیدرولیکی باعث شد که بخشی از بیومس داخل راکتور که با فاضلاب ورودی و شرایط هیدرولیکی و دمایی راکتور تا انتهای مرحله‌ی پنجم سازگار شده بود، از سیستم خارج شود.
۲. قبل از شروع مرحله‌ی ششم، لجن ته‌نشین شده در مخزن ته‌نشینی به داخل راکتور برگشت داده شد که این لجن، مجموع لجن فرار کرده در اثر شوک هیدرولیکی در



شکل ۵. تغییرات غلظت لجن در تراز شیر ۴، و پساب خروجی از راکتور و مخزن ته‌نشینی در طول دوره‌ی راهبری.

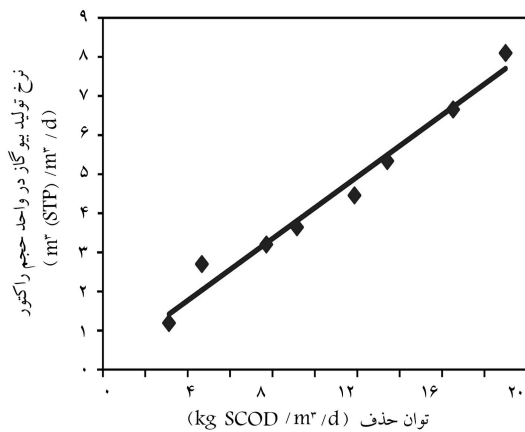
و واگردانی لجن (مخزن ته‌نشینی + پمپ واگردانی) توانسته است با جلوگیری از خروج بیومس از سیستم، زمان ماند جامدات را در کل سیستم، بالا ببرد؛ اختلاف بین غلظت VSS خروجی از راکتور و مخزن ته‌نشینی مؤید این مطلب است، به طوری که در آخرین مرحله‌ی بارگذاری، غلظت VSS خروجی از راکتور و مخزن ته‌نشینی به ترتیب برابر ۲۵ و ۱/۳ گرم بر لیتر بوده است (شکل ۵). زمان ماند جامدات را می‌توان برای ارزیابی ظرفیت نگهداری راکتور به کار برد. زمان ماند جامدات در این سیستم و در مرحله‌ی آخر، حدود ۴۳/۱ روز به دست آمد که از کمینه‌ی ارائه شده توسط Tchobanoglous و همکارانش بیشتر است. به طور کلی، زمان ماند جامدات بزرگ‌تر از ۲۰ روز برای فرایندهای بی‌هوازی در دمای ۳۰ درجه‌ی سلسیوس جهت نیل به یک فرآیند تصفیه مؤثر لازم است و برای دماهای کمتر، زمان ماند جامدات بیشتر از ۲۰ روز نیاز است.<sup>[۱۰]</sup>

#### ۴.۲.۳. بازده حذف COD

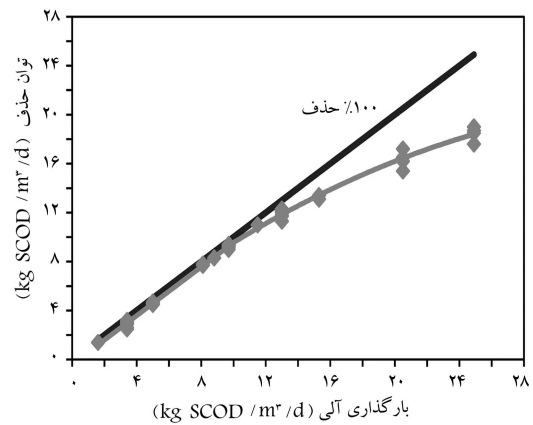
ارتباط بین نرخ بارگذاری آلی و بازده حذف SCOD در طول دوره‌ی راهبری در شکل ۶ نشان داده شده است. با وجود افزایش بارگذاری، بازده حذف SCOD همواره بالاتر از ۷۰٪ قرار دارد. با بررسی تغییرات بازده حذف می‌توان سه مرحله‌ی افزایش، بدون تغییر و کاهش را شناسایی کرد. از بارگذاری حدود ۱۰ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز به بالا، بازده حذف SCOD رو به کاهش می‌گذارد. بررسی دلایل کاهش بازده حذف در بارگذاری‌های بالاتر از ۱۰ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز، نیاز به بررسی بیشتر داده‌های موجود دارد که در بخش بعد به آن پرداخته خواهد شد.

#### ۵.۲.۳. توان حذف ویژه بیومس

از جمله پارامترهای قابل بررسی جهت شناخت دلایل کاهش بازده حذف در بارگذاری‌های بالاتر از ۱۰ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز، دو پارامتر غلظت (یا جرم) بیومس و توان حذف ویژه بیومس است. تغییرات توان حذف ویژه بیومس، «نرخ بارگذاری لجن»<sup>[۱۱]</sup> و جرم VSS کل لجن راکتور در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به شکل، نرخ بارگذاری لجن و توان حذف ویژه تا انتهای مرحله‌ی چهارم، افزایشی در حدود ۰/۲ کیلوگرم SCOD بر کیلوگرم VSS در روز داشته است. هم‌زمان با افزایش نرخ بارگذاری آلی (افزایش غلظت ورودی) تا انتهای مرحله‌ی چهارم، جرم VSS کل لجن راکتور نیز افزایش یافته است؛ بنابراین براساس رابطه  $\text{نرخ بارگذاری آلی} = \frac{\text{نرخ بارگذاری لجن}}{\text{VSS}}$  قابل توجهی



شکل ۹. تغییرات نرخ تولید بیوگاز در واحد حجم راکتور در برابر توان حذف.



شکل ۸. تغییرات توان حذف در برابر نرخ بارگذاری آلی.

#### ۴. نتیجه‌گیری

- سیستم مورد مطالعه، دارای قابلیت تصفیه‌ی شیرابه در زمان ماند هیدرولیکی کم و بارگذاری بالا، بدون نیاز به تنظیم pH از طریق عوامل خارجی است.
- به نظر می‌رسد که تجمع جمعیت میکروبی در مناطق تحتانی (شیر ۱) راکتور باعث شده است که غالب فرآیند تجزیه‌ی بی‌هوازی در این مناطق انجام پذیرد.
- کوتاه بودن زمان ماند هیدرولیکی واقعی راکتور (۱۳/۹ ساعت) نسبت به زمان ماند هیدرولیکی ظاهری راکتور (۲/۷ روز) به علت وجود جریان واگردانی باعث شده است که ظرفیت متعادل‌سازی شوک‌های هیدرولیکی وارده کاهش یابد. با این وجود، سیستم جداسازی و واگردانی لجن (پمپ واگردانی + مخزن ته‌نشینی) توانسته است با جلوگیری از خروج بیومس، زمان ماند جامدات را در کل سیستم بالا ببرد. به طوری که در مرحله‌ی آخر بارگذاری، غلظت VSS خروجی از راکتور و مخزن ته‌نشینی و همچنین زمان ماند جامدات در کل سیستم به ترتیب برابر ۲۵ گرم بر لیتر، ۱/۳ گرم بر لیتر و ۴۳/۱ روز بوده است.
- بیشترین توان حذف به دست آمده در این مطالعه حدود ۱۸ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز بوده است. به نظر می‌رسد که زمان ماند جامدات حدود ۴۳/۱ روز در کل سیستم و در آخرین مرحله‌ی بارگذاری باعث دستیابی به چنین توان حذفی شده است.
- با بررسی نمودارهای توان حذف - نرخ بارگذاری آلی و توان حذف ویژه - نرخ بارگذاری لجن به نظر می‌رسد که راکتور در حال نزدیک شدن به بیشینه‌ی ظرفیت بارگذاری است. پیشی گرفتن غلظت بیومس در ترازهای بالایی بخش رشد معلق نسبت به کف راکتور نیز تأییدی بر این موضوع است.
- مقایسه‌ی سیستم مورد استفاده در این مطالعه با راکتور UASB که از پر بازده‌ترین روش‌های تصفیه‌ی بی‌هوازی است، نشان می‌دهد که سیستم حاضر نه تنها دارای ظرفیت بارگذاری بالاتری است، بلکه می‌تواند از فرار بیومس در بارگذاری‌های بالا جلوگیری کند.
- افزایش نرخ تولید بیوگاز متناسب با افزایش نرخ حذف SCOD بوده است که نشان می‌دهد که بخش عمده‌ی SCOD از طریق فرآیند بیولوژیکی حذف شده است. ضریب تبدیل SCOD حذف شده به بیوگاز، ۰/۴ مترمکعب بر کیلوگرم SCOD حذف شده به دست آمد که نزدیک به مقدار ارائه شده برای فرآیند تصفیه‌ی بی‌هوازی (۰/۵ مترمکعب بر کیلوگرم COD حذف شده) است.

انتهای مرحله‌ی پنجم و لجنی بود که در طول مراحل قبلی در مخزن ته‌نشینی جمع شده بود. به نظر می‌رسد که لجن اولیه‌ی موجود در مخزن ته‌نشینی به اندازه‌ی لجن موجود در راکتور، توانایی حذف و یا افزایش توان حذف نداشته است.

در صورتی که نرخ بارگذاری لجن افزایش یابد، اما توان حذف ویژه‌ی بیومس ثابت شود؛ راکتور به بیشینه‌ی توان حذف ویژه‌ی بیومس خود رسیده است. به نظر می‌رسد که راکتور حاضر در این مطالعه در حال نزدیک شدن به چنین شرایطی است.

#### ۶.۲.۳. توان حذف ۱۲

همان‌طور که در شکل ۸ مشخص است، تا قبل از نرخ بارگذاری آلی ۹/۷ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز (مرحله‌ی پنجم)، توان حذف به صورت خطی با افزایش نرخ بارگذاری آلی افزایش می‌یابد، ولی با عبور از مرحله پنجم، آهنگ رشد توان حذف کاهش می‌یابد. با وجود کاهش آهنگ رشد توان حذف، توان حذف همچنان به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد، به طوری که راکتور در آخرین مرحله‌ی بارگذاری قادر به حذف حدود ۱۸ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز است.

یکی از دلایلی که برای کاهش آهنگ رشد توان حذف بعد از نرخ بارگذاری آلی ۹/۷ کیلوگرم SCOD بر مترمکعب در روز می‌توان متصور بود، همان شوک هیدرولیکی انتهایی مرحله‌ی پنجم است. در صورتی که نرخ بارگذاری آلی افزایش یابد، اما توان حذف ثابت شود؛ راکتور به بیشینه‌ی توان حذف خود رسیده است. به نظر می‌رسد که راکتور حاضر در این مطالعه در حال نزدیک شدن به چنین شرایطی است.

#### ۷.۲.۳. تولید بیوگاز

تغییرات نرخ تولید بیوگاز در برابر توان حذف در شکل ۹ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، افزایش نرخ تولید بیوگاز متناسب با افزایش توان حذف SCOD بوده است که نشان می‌دهد که بخش عمده‌ی SCOD از طریق فرآیند بیولوژیکی حذف شده است. در برخی فرآیندهای تصفیه، COD موجود در فاضلاب از طریق جذب توسط رسوبات معدنی حذف می‌شود، اما با وجود رسوب‌گذاری شدید به نظر می‌رسد که این نوع حذف در این مطالعه در صورت وجود، بسیار ناچیز بوده است. در صورتی که نمودار تغییرات نرخ تولید بیوگاز در واحد حجم راکتور در برابر توان حذف رسم شود، می‌توان ضریب تبدیل COD حذف شده به بیوگاز را که همان شیب خط برازش داده شده است، به دست آورد. بر اساس شکل ۹، این ضریب برابر ۰/۴ مترمکعب بر کیلوگرم SCOD حذف شده به دست می‌آید که قابل مقایسه با مقدار عمومی ۰/۵ مترمکعب بر کیلوگرم COD حذف شده است.<sup>[۱۶]</sup>

## پانوشتها

1. filtered chemical oxygen demand
2. chemical oxygen demand
3. up-flow anaerobic sludge blanket
4. anaerobic hybrid reactor
5. anaerobic filter
6. biomass
7. CO<sub>2</sub> stripper
8. suspended solids
9. volatile suspended solids
10. specific elimination capacity of biomass
11. solid loading rate
12. elimination capacity

## منابع (References)

1. Safari, E. "In-situ treatment of municipal solid waste landfill leachate", Doctoral Dissertation, University of Tehran (In persain)(1382).
2. Borzacconi, L.; Ottonello, G.; Castello, E.; Pelaez, H.; Gazzola, A. and Vinas, M. "Denitrification in a carbon and nitrogen removal system for leachate treatment: Performance of a upflow sludge blanket (USB) reactor", *Wat. Sci. Tech.*, **40**(8), pp. 145-151 (1999).
3. Mehmood, M.K.; Adetutu, E.; Nedwell, D.B. and Ball, A.S. "In situ microbial treatment of landfill leachate using aerated lagoons", *Bioresource Technology*, **100**(10), pp. 2741-2744 (2009).
4. Kjeldsen, P.; Barlaz, M.A.; Rooker, A.P.; Baun, A.; Ledin, A. and Christensen, T.H. "Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review", *Critical Reviews in Environmental Sci. and Tech.*, **32**(4), pp. 297-336 (2002).
5. Sarafrazi-Ardakani, M.R. "Treatment of municipal solid waste landfill leachate using a serial aerobicanaerobic - aerobic system", Master's Dissertation, Tarbiat Modares University (In persain)(1379).
6. Kheradmand, S.; Karimi-Jashni, A. and Monajjemi, P. "Anaerobic treatment of municipal solid waste landfill leachate, a case study: Shiraz solid waste landfill", *Water and Waste Water*, **20**(4), pp. 82-90 (In persain)(1388).
7. Takdastan, A.; Pazoki, M. and Nejadi, A. "Quantitative and Qualitative assessment of current methods for solid waste disposal in Iran and selecting the best methods for municipal solid waste management", the 1st con-

- ference of environmental systems planning and management, Tehran (In persain)(1386).
8. Renou, S.; Givaudan, J.G.; Poulain, S.; Dirassouyan, F. and Moulin, P. "Landfill leachate treatment: Review and opportunity", *Hazardous Material*, **150**(3), pp. 468-493 (2008).
9. Elmitwalli, T.A.; Oahn, K.L.T.; Zeeman, G. and Lettinga, G. "Treatment of domestic sewage in a two-step anaerobic filter/anaerobic hybrid system at low temperature", *Water Research*, **36**(9), pp. 2225-2232 (2002).
10. Tchobanoglous, G.; Burton, F.L. and Stensel, H.D., *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th ed., Metcalf & Eddy Inc., Mc-Graw Hill Companies Inc. (2003).
11. Shin, H.S.; Han, S.K.; Song, Y.C. and Lee, C.Y. "Performance of UASB reactor treating leachate from acidogenic fermenter in the two-phase anaerobic digestion of food waste", *Water Research*, **35**(14), pp. 3441-3447 (2001).
12. Tilche, A. and Vieira, S.M.M. "Discussion report on reactor design on anaerobic filters and sludge bed reactors", *Wat. Sci. Tech.*, **34**(8), pp. 193-206 (1991).
13. Young, J.C. "Factors affecting the design and performance of upflow anaerobic filters", *Wat. Sci. Tech.*, **24**(8), pp. 133-155 (1991).
14. Wu, W.M.; Bhatnagar, L. and Zeikus, G. "Performance of anaerobic granules for degradation of pentachlorophenol", *Applied and Environmental Microbiology*, **59**(2), pp. 389-397 (1993).
15. Calli, B.; Mertoglu, B.; Roest, K. and Inanc, B. "Comparison of long-term performances and final microbial compositions of anaerobic reactors treating landfill leachate", *Bioresource Technology*, **97**(4), pp. 641-647 (2006).
16. Malina, J.F. and Pohland, F.G. "Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastewaters", 1st ed., CRC Press (1992).
17. Mohan, S.V.; Babu, V.L.; Bhaskar, Y.V. and Sarma, P.N. "Influence of recirculation on the performance of anaerobic sequencing batch biofilm reactor (AnSBBR) treating hypersaline composite chemical wastewater", *Bioresource Technology*, **98**, pp. 1373-1379 (2007).
18. APHA, AWWA, WEF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21th ed., APHA (2000).



# PERFORMANCE OF AN ANAEROBIC HYBRID REACTOR TREATING MUNICIPAL SOLID WASTE LEACHATE

M. Mohtadi

Department of Civil Engineering  
Sharif University of Technology  
Tehran, Iran

S.J. Hashemian

A. Torkian  
Institute of Water and Energy  
Sharif University of Technology  
Tehran, Iran

## Abstract:

The growth in world population, improvement of public welfare and increase in the production of consumer goods, has resulted in increased quantities of solid waste generation. As in other developing countries, in Iran, landfilling is the main method of waste disposal. This preference, in terms of lower costs and simple technology, is justified, as long as measures are undertaken to protect waterways and soil contamination due to leachate discharge. Leachate usually contains high concentrations of organic compounds, such as ammonia N, heavy metals and inorganic salts, thus, necessitating treatment prior to discharge into the environment.

In this study, Kahrizak landfill leachate treatment was investigated using a 159 L anaerobic hybrid reactor. In addition, an external system (sedimentation tank + recirculation pump) was used for maintaining sludge in the reactor. A heat exchanger was used from the beginning until an organic loading rate (OLR) of 8.1 kg SCOD/m<sup>3</sup>-d to keep the reactor temperature in the range of 33-37 °C. Because of malfunction, no auxiliary heating was provided after the above-mentioned OLR, and the system was operated at summer room temperature so that the wastewater temperature was 28-31 °C. Hydraulic retention time (HRT) was maintained at a constant value of 2.7 days, and the inlet soluble chemical oxygen demand (SCOD) was gradually increased from 9.2 to 67.2 g/L by diluting the leachate. The recirculation system decreased the actual HRT to 13.9 hr and a nominal HRT of 2.7 days. The set up level of flexibility for hydraulic shock loads was decreased, as such, but the recirculation system enabled the system to operate at an increased solids retention time (SRT).

According to the results, pH was in a range from 7.0 to 7.8. This level of pH resulted in a considerable amount of precipitation in the reactor, so that there was an increase of 13.7 kg in total suspended solid mass, while the volatile part increased just 2.5 kg during the study. This precipitation caused some clogging problems. Maximum SCOD removal efficiency of about 95% was observed at an OLR of 8.1 to 9.7 kg SCOD/m<sup>3</sup>-d. At the maximum OLR of 24.9 kg SCOD/m<sup>3</sup>-d, the leachate was pumped into the reactor without any dilution and a SCOD removal efficiency of 76.3% was obtained. Based on observations during the operation, the system described in this paper has an ability to treat leachate without using additives to adjust pH. A comparison between conventional UASB systems and the system used in this study shows that not only does the current system have a higher OLR capacity, but it can also reduce the biomass loss.

**Keywords:** Anaerobic treatment, leachate, municipal solid waste, anaerobic hybrid reactor