

# ارزیابی پارامترهای مؤثر در میزان تولید گاز متان حاصل از تصفیه شیرابه مراکز دفن

محمد رضا صبور<sup>i</sup>؛ حمیدرضا کمالان<sup>ii</sup>؛ ساناز پاسدار<sup>iii</sup>

## چکیده

شیرابه مراکز دفن با توجه به غلظت بسیار بالای ترکیبات آلی آلوده، از جمله مخاطرات مراکز دفن پسماندها می‌باشد. از این رو کاربرد روزافزون سیستم‌های بی‌هوازی نرخ بالا<sup>1</sup> در تصفیه فاضلابهای خاص با بار آلودگی بالا، روشهای تصفیه ای نظیر UASB<sup>2</sup> را در تصفیه شیرابه توجیه می‌نماید. از آنجا که میکروارگانیسمهای بی‌هوازی عامل تولید گاز متان می‌باشند، میزان حجم تولیدی این گاز به طور مستقیم با بازده عملکرد سیستم تصفیه بی‌هوازی در ارتباط است. هدف از این پژوهش، بررسی پارامترهای مؤثر برای استحصال گاز متان از تصفیه بی‌هوازی شیرابه به روش UASB و تعیین نرخ تولید و درصد گاز متان خروجی در سیستم بر اساس نرخ بارگذاری و راندمان تصفیه شیرابه می‌باشد. در واقع نرخ گاز تولیدی به عوامل مختلفی بستگی دارد که مهمترین پارامترها در این تحقیق اندازه گیری شده اند. نتایج حاصله از راهبری پایلوت تصفیه بی‌هوازی به روش UASB نشان می‌دهد که با افزایش غلظت COD ورودی، راندمان حذف و حجم بیوگاز تولیدی در ابتدا کاهش پیدا کرده و سپس با افزایش تطابق پذیری لجن با بار ورودی، این مقادیر بیشتر می‌شوند. همچنین بیشترین مقدار حذف COD مربوط به حداکثر بیوگاز تولیدی می‌باشد.

## کلمات کلیدی

شیرابه مراکز دفن زباله، تصفیه بیولوژیکی بی‌هوازی، راکتور UASB، متان.

## *Investigation on Effective Parameters on Methane Gas Production Out of Landfill Leachate Treatment*

M. R. Sabour; H. Kamalan; S. Pasdar

### ABSTRACT

Leachate, with regard to its high concentration of organic contaminants, is one of the environmental risks of landfills. Hence, the high-rate anaerobic treatment technology, such as utilization of UASB reactor, is the most widely and successfully used system for treating special type of high-contaminated wastewater. In this method, methane production rate depends on the efficiency of the anaerobic system. The main objective of this study is to investigate the effective parameters on biogas production and determine the fraction of methane in the biogas based on organic loading rate (OLR) and efficiency of organic materials removal. On the other hand, Biogas production rate depends on several parameters that the most important ones have been measured in this study. On this basis, an UASB pilot has been provided and several effective parameters on biogas generation have been measured. The results show that the COD removal efficiency and biogas generation decrease by increasing the influent COD at the

<sup>i</sup> دکتری مهندسی عمران و محیط زیست، استاد یار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، Email: savor@kntu.ac.ir

<sup>ii</sup> دانشجوی دکتری مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تلفن: ۰۹۱۲۳۰۱۴۴۱۳، Email: hkamalan@yahoo.com

<sup>iii</sup> کارشناس ارشد مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، Email: Sanazpasdar@yahoo.com

beginning, and they are increased due to enhancement of coloration between the sludge and OLR. The soluble COD is converted into biogas and sludge.

#### KEYWORDS

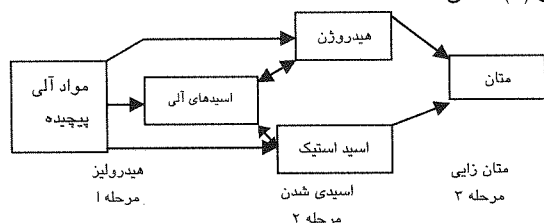
Landfill Leachate, Anaerobic Biological Treatment, UASB, Methane.

فاضلابهای خاص و شیرابه مراکز دفن به تفصیل بررسی شده است. تاکید این پژوهشها بر مواردی نظیر کاهش سولفات در تصفیه بی هوازی شیرابه، شستشوی خاکستر انتهایی زباله سوزها [۲۱]، کاربرد این روش در دماهای کم [۷]، و مقایسه چند روش بی هوازی با روش یاد شده جهت کاربرد در تصفیه شیرابه فاضلاب کشاورزی نظیر شیرابه پسماند صنعت گوجه فرنگی بوده است [۲۲]. در برخی دیگر از اینگونه پژوهشها، مقایسات روشهای مختلف هوازی و بی هوازی در تصفیه شیرابه مراکز دفن مد نظر بوده است [۲۳]. در حالیکه تاکید پژوهش حاضر در تولید متان و عوامل تاثیر گذار در تولید آن در تصفیه شیرابه مراکز دفن به روش UASB بوده است. لذا با ساخت و بهره برداری از پایلوت و انجام اندازه گیری های لازم، نتایج مورد بررسی قرار گرفت.

#### ۲- میکروبیولوژی، بیوشیمی و فیزیولوژی هضم بی

##### هوازی و تولید گاز متان

هضم بی هوازی حاصل واکنشهایی است که از طرف میکروارگانیسم ها انجام میگیرد. از آنجا که موجودات زنده برای زنده ماندن و رشد احتیاج به انرژی دارند [۲]. برای گرفتن این انرژی، مواد را مورد مصرف قرار داده و طی واکنشهایی که سوخت و ساز نامیده می شوند انرژی لازم را بدست می آورند. تجزیه ترکیبات پیچیده آلی به ترکیبات ساده تر که منجر به آزاد شدن انرژی می شود کاتابولیسم نامیده می شود. انرژی آزاد شده در خلال اکسیداسیون مواد، بوسیله موجودات زنده گرفته شده و در سلول به شکل ATP ذخیره می گردد [۷]. [۸]. به طور کلی مراحل مختلف فرایند بیولوژیکی بی هوازی در راکتورهای بی منفذ و هوا بندی شده عبارت است از هیدرولیز، اسیدی شدن و متان زایی [۲]-[۳]. شماتیک این طبقه بندی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): دیاگرام شمایی مراحل فرایند هضم بی هوازی

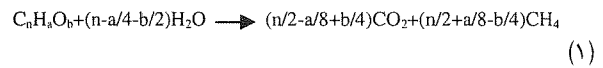
#### ۱- مقدمه

شیرابه به مایعات خروجی از مرکز دفن زباله (به همراه مواد محلول و معلق موجود در آن) اطلاق می شود که در صورت عدم کنترل می تواند موجبات آلودگی خاک، آبهای زیرزمینی و همچنین آبهای سطحی را فراهم آورد [۱]. در تصفیه بی هوازی، میکروارگانیسمها در غیاب اکسیژن محلول، مواد قابل تجزیه بیولوژیکی، نظیر باکتریها، قارچها و جلبکها را به زیست توده و محصولات نهایی مثل بخار آب، دی اکسید کربن، متان و توده بیولوژیکی تبدیل می کنند که به مجموعه گازهای تولید شده بیوگاز اطلاق می شود [۶].

راکتور UASB عملاً یک فن آوری تکامل یافته بوده و مطالعات صورت گرفته بر روی میزان حذف مواد معلق، بار هیدرولیکی، عملکرد فصلی، درصد حذف COD، میزان بارگذاری سیستم و در نتیجه میزان و سرعت تولید گاز متان نشان می دهند که این راکتور راحتتر می تواند مواد معلق را حذف کند. همچنین در مقایسه با سایر راکتورهای بی هوازی، حساسیت کمتری به تغییرات بار هیدرولیکی داشته و با توجه به تشکیل گرانول (بعثت اعمال رژیم جریان رو به بالا و تعبیه جداکننده فازی مناسب) و عملکرد بهتر در خصوص تغییرات در ترکیب و جریان شیرابه برای عملکرد فصلی مناسبتر است. از سوی دیگر این راکتور قابلیت بیشترین بارگذاری با راندمان بالای حذف (حدود ۸۰٪) را دارد [۵].

شیخ بهایی برای اولین بار، بیوگاز را جهت گرمایش حمام بکار برد. در قرن ۱۷، Van Helmont تولید گازی قابل اشتعال از تجزیه مواد آلی و Volta در سال ۱۷۶۶ تولید متان را به صورت علمی مطرح نمود. در سال ۱۸۸۴، Gayon، با تخمیر فضولات حیوانی در دمای  $35^{\circ}\text{C}$ ، ۱۰۰ لیتر متان به ازای هر متر مکعب از فضولات حیوانی بدست آورد. در سال ۱۸۷۶ Herter، گزارش داد که استات موجود در لجن فاضلاب، طی فرایندهایی به متان و دی اکسیدکربن تبدیل می شود و ۲۰ سال بعد گاز تولیدی از تصفیه فاضلاب برای روشنایی معابر در انگلستان، مورد استفاده قرار گرفت. در سال ۱۹۰۴، Travis، طی پروسه ای دو مرحله ای مواد معلق را از فاضلاب جدا کرده و آن را وارد اتاقک مجزای هیدرولیز نمود [۲]-[۳]-[۴]. در مطالعات اخیر، کاربرد روش UASB در تصفیه

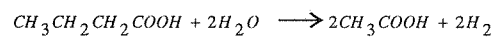
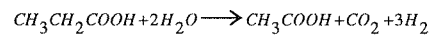
مطالعات صورت گرفته در سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۳۸ به درک بهتر کنترل پروسه بی‌هوازی منجر شد و موازنه‌ای جرمی بین ترکیبات مواد واسطه‌ای و گاز متان تولید شده مشخص نمود که در حالت عمومی تخمیر متان را می‌توان به صورت واکنش (۱) بیان کرد:



سه گروه باکتری شرکت کننده در فرایند هضم بی‌هوازی عبارتند از:

۱. باکتری‌های هیدرولیتیک یا تخمیر کننده و هیدرولیز کننده

۲. باکتری‌های هترواستوژن تولید کننده اسید استیک و هیدروژن که این باکتریها با شرکت باکتریهای متانوژن، کاتابولیز اسیدهای چرب مثل پروپیونات و بوتیرات را به عهده دارند.



۳. باکتریهای متانوژن یا متان زا: این گروه وظیفه تبدیل هیدروژن و دی‌اکسید کربن را به ترکیبات تک کربنی (همچون متانول، CO و متیل آمین) و استات به متان یا تولید متان از طریق دی‌کربوکسیلیت کردن استات را بعهده دارند. در این روش از متابولیز اسید استیک، فرمالدئید، متانول و متیل آمینها، متان بدست می‌آید:



بیشتر متان تولیدی باقیمانده (۳۰ تا ۳۵ درصد) بوسیله باکتریهایی که هیدروژن را اکسیده و بی‌کربنات را احیا می‌نمایند شکل می‌گیرد:



نقش باکتریهای متان زا فوق العاده مهم می‌باشد. زیرا فعال نبودن آنها می‌تواند از فعالیت دیگر گروهها نیز جلوگیری نماید [۲]. این باکتریها همچنین گروهی هستند که کمترین رشد را دارا می‌باشند و حساسترین گروه در برابر تغییرات عوامل محیطی می‌باشند. شناخت این عوامل (نظیر مواد تشکیل دهنده فاضلاب، اسیدیته یا pH، قلیائیت، اسیدهای آلی، دمای هضم، مواد مغذی، مواد سمی، اختلاط، تجزیه پذیری مواد آلی و...) و نحوه تاثیر آنها بر فعالیت این باکتریها برای انجام مؤثر عمل هضم از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

وقتی فاضلاب توسط ارگانیزمها مصرف می‌شود، مقداری از کربن (طی فرایند آنابولیزم) به مواد سلولی میکروبیها تبدیل شده و باقی مانده کربن (طی فرایند کاتابولیزم) در شکل گیری متان و دی‌اکسید کربن مصرف می‌شود. هرچه میزان بی

هوازی بودن پروسه بیشتر باشد، مقدار بیشتری از کربن به متان تبدیل خواهد شد [۷]-[۹]. با محاسبه میزان متان تولیدی در تصفیه شیرابه با استفاده از مدل ریاضی، میزان متان تولیدی از تصفیه شیرابه کهریزک را می‌توان به ازای هر لیتر شیرابه محاسبه نمود، که با توجه به اینکه COD شیرابه، حدود (۸۰۰۰۰) میلی گرم بر لیتر می‌باشد. از هر گرم COD حذف شده حدود ۰/۳۹۶ لیتر متان تولید خواهد شد [۲۰]-[۱۰]-[۱۱].

### ۳- پارامترهای مؤثر بر مبانی طراحی سیستم جمع آوری و اندازه گیری گاز متان

راکتور UASB، یک مخزن پر از توده های بیولوژیکی و فاضلاب است که اساس کار آن ایجاد یک لایه ضخیم و فشرده از باکتریها به صورت گرانول و عبور فاضلاب از کف راکتور (محل فعل و انفعالات بی‌هوازی) می‌باشد.

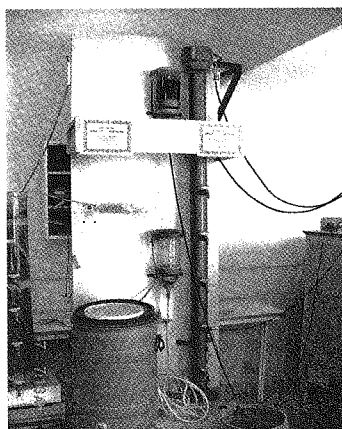
یکی از مهمترین بخش‌های راکتور UASB بخش جداسازی گاز از جامدات معلق می‌باشد که از تعدادی جمع کننده گاز، تشکیل شده است. معمولاً زاویه این قطعات ۴۵ تا ۶۰ درجه با افق، انتخاب می‌شود. گازگیرها می‌بایستی کل سطح راکتور را بپوشانند تا از تجمع گاز و کاهش حجم مفید راکتور، جلوگیری گردد. گازهای حاصل از تصفیه بیولوژیکی بی‌هوازی، در حرکت رو به بالای خود مقداری از لجن که به آنها چسبیده است را بالا می‌برد. بدین ترتیب ضمن افزایش اختلاط محتویات UASB و در نتیجه افزایش تماس لجن‌ها با فاضلاب، در بخش گازگیر، گاز از لجن جدا گشته و از راکتور خارج می‌شود. با کاربرد صفحات موازی (زاویه با افق ۴۵ درجه، ارتفاع صفحات ۳۵ سانتی متر و فاصله بین آنها ۷ سانتی متر) ظرفیت تصفیه راکتور UASB دو برابر می‌گردد [۱۲]. جهت جلوگیری از بسته شدن مجاری جمع آوری گاز، اختلاف هد (h)، بصورت هیدرولیکی ایجاد می‌شود. باید توجه داشت در دمای راکتور، بیوگاز تولیدی از بخار آب اشباع شده است و به محض سرد شدن گاز خروجی، قطرات آب تشکیل و از آن جدا خواهند شد [۲]-[۱۲].

از این میان تعداد زیاد پارامترهای مؤثر در راهبری راکتور UASB که ارتباط مستقیم با تولید گاز دارند، برخی نقش مهمتری دارند: (۱) مواد غذایی موجود در فاضلاب (ازت و فسفر و دیگر عناصر مورد نیاز رشد میکروارگانیسم‌ها). (۲) درجه حرارت مناسب برای تولید بیشتر گاز متان. (۳) بار مواد آلی که بستگی به دبی ورودی و غلظت COD مواد ورودی در حجم راکتور دارد. (۴) زمان ماند هیدرولیکی (HRT) بین ۴ تا ۱۲ ساعت. (۵) راندمان حذف مواد آلی که رابطه مستقیم با

حرارت ۱۰۳ تا ۱۰۵ درجه سانتیگراد، ۸- آزمایش MLVSS که از قرار دادن ظرف آزمایش MLSS در دمای ۵۵۰°C تا رسیدن به وزن ثابت در کوره بدست می‌آید، ۹- آزمایش کل جامدات محلول (TDS) بوسیله گرم کردن محلول عبوری از صافی در آون در دمای ۱۰۳ تا ۱۰۵ درجه سلسیوس، ۱۰- آزمایش کل جامدات فرار محلول (TVDS) از طریق قرار دادن ظرف آزمایش قبلی در دمای ۵۵۰°C تا رسیدن به وزن ثابت در کوره، ۱۱- آزمایش قلیائیت (Alkalinity) بوسیله تیتراسیون با اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال، ۱۲- آزمایش اسیدهای چرب فرار (VFA) به روش تیتراسیون با NaOH، ۱۳- آزمایش تعیین نرخ بیوگاز تولیدی ۱۴- آزمایش اندازه گیری درصد گاز متان در بیوگاز [۱۸]-[۱۹].

#### ۴- راهبری سیستم

حجم کل راکتور UASB مورد استفاده در این پژوهش، ۲۲ لیتر و از جنس PVC به شکل استوانه‌ای ساخته و بر روی یک پایه چوبی قرار داده شد. ارتفاع راکتور از نقطه ورودی تا بالاترین نقطه آن ۲۵۴ سانتیمتر و قطر داخلی آن حدود ۱۰/۶ سانتیمتر بود. در بدنه راکتور و در شش نقطه مناسب، ۶ شیر نمونه برداری جهت پایش تغییرات و کنترل کیفیت لجن داخل راکتور نصب گردید. شیرابه از مخزن تغذیه ۵۰ لیتری توسط یک پمپ به داخل راکتور پمپاژ شده و خروجی از راکتور به یک تانک ته نشینی منتقل گردید تا از فرار ذرات لجن و گرانولهای ریز تا حد امکان جلوگیری شود. قسمت ورودی راکتور به صورت قیفی شکل و به ارتفاع حدود ۱۵ سانتی متر ساخته شد. شیب دیواره های آن ۵۰ درجه و بخش ته نشینی در قسمت فوقانی قسمت ورودی راکتور قرار داده شد که قسمت اصلی راکتور از نظر حجم و اندازه بود. شکل کلی پایلوت در شکل (۲) آمده است.



شکل (۲): شکل کلی راکتور UASB مورد استفاده

حجم گاز تولیدی دارد. (۶) زمان ماند میکروبی (SRT) به راندمان وسایل و تجهیزات نگهداری لجن در داخل راکتور، وابسته بوده و استفاده از صفحات موازی به همراه جداکننده فازی معمولی، در افزایش نرخ ته نشینی لجن و به تبع آن افزایش سن لجن یا SRT، بسیار مؤثر است. (۷) pH از ۶/۸ تا ۷/۲. (۸) نسبت مناسب غذا به میکروارگانیسم (F/M) که چنانچه متناسب با فعالیت متان زایی میکروارگانیسمهای موجود در سیستم نباشد، موجب کاهش راندمان و کاهش قابلیت ته نشینی زیست توده و در نتیجه تأخیر در راه اندازی سیستم و عدم گرانول شدن لجن یا ترش شدن سیستم، خواهد شد. لذا میزان آن در شرایط معمولی بهره برداری باید حدود ۰/۵ کیلوگرم COD بر یک کیلوگرم جرم لجن در روز باشد. (۹) میزان مواد مغذی ماکروسکی، میکروسکی و عناصر کمیاب (trace) نظیر نیتروژن، فسفر، منیزیم، کلسیم، پتاسیم، سدیم، آهن، نیکل، کبالت، گوگرد و روی. (۱۰) اثر بازدارندگی مواد سمی نظیر اکسیژن، غلظت بالای کاتیونها، فلزات سنگین، نمکهای محلول مس، روی و نیکل، آمونیاک، ترکیبات حلقوی بنزن، فرمالدئیدها، اسیدهای فرار، اسیدهای چرب زنجیره‌ای و سولفیتها. (۱۱) میزان قلیائیت فاضلاب ورودی که بطور متوسط ۰/۱۵ قابل قبول است. (۱۲) شوکهای مختلف نظیر شوک حرارتی، شوک بار آلودگی و... (۱۳) هدر رفتن مواد جامد یا تولید لجن اضافی (بهترین غلظت برای تخلیه لجن ۵ درصد مواد جامد است). (۱۴) میزان جریان برگشتی (بهترین راندمان در نسبت بازگردش معادل ۴ می‌باشد). (۱۵) توده های لجن بسته به نسبت F/M و عمق جدا کننده ۳ فاز در راکتور. (۱۶) میزان جریان (تعیین کننده بارگذاری). (۱۷) سرعت خطی جریان مایع بالا رونده (۰/۳۳ تا ۰/۶۷ متر بر ساعت) [۱۳]-[۱۴].

در انجام یک پروژه عملی یا آزمایشگاهی، هدف اصلی بدست آوردن شرایط بهینه و مناسب می‌باشد که در آن شرایط روند آزمایش بهترین نتایج را خواهد داشت. برای تغییر یک پارامتر و بدست آوردن مقدار مناسب آن باید سایر پارامترها ثابت نگه داشته شوند تا بتوان نتیجه درستی از تغییر در پارامتر یاد شده را بدست آورد. آزمایشات انجام شده در پژوهش حاضر عبارتند از: ۱- آزمایش دما توسط دماسنج جیوه‌ای با دقت ۱ ± °C، ۲- آزمایش pH توسط معرف های یونیورسال و گاهی با استفاده از pH متر الکتریکی، ۳- آزمایش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD<sub>5</sub>)، ۴- آزمایش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، ۵- آزمایش کل جامدات (TS)، ۶- آزمایش کل جامدات فرار (TVS)، ۷- آزمایش MLSS که عبارت است از مقدار جامدات معلق باقیمانده پس از فیلتراسیون نمونه شیرابه یا فاضلاب بر روی فیلتر و خشک شدن در درجه

سیستم اندازه گیری حجم بیوگاز تولیدی، بر اساس اصول ساده سیالات (با ثبت میزان جابجایی کف صابون که مساوی حجم گاز تولیدی است) در یک ظرف مدرج، ساخته شد. برای اندازه گیری درصد گاز متان تولیدی در بیوگاز، از دستگاه پلی تکتور ۲ مدل G750 استفاده شد.

جهت آزمایش تجزیه بیولوژیکی بی هوازی، گاز حاصل از فرایند تصفیه بی هوازی توسط یک لوله پلاستیکی وارد یک ظرف وارونه با درب آبنندی شده حاوی یک محلول بازی یا اسیدی، می‌شود. اگر یک ماده قلیایی در ظرف استفاده شود، CO<sub>2</sub> موجود در بیوگاز حذف شده و تنها متان جمع آوری می‌شود. به میزان گاز جمع شده در بالای ظرف که از داخل سیال عبور کرده، از داخل لوله ای که یک سر آن در داخل محیط قلیایی و سر دیگر آن در داخل ظرف مدرج قرار دارد، سیال موجود در ظرف بسته به داخل ظرف مدرج وارد می‌شود. از اینرو می‌توان گفت که حجم بدست آمده از محلول معادل حجم متان تولیدی است.

از آنجا که راه اندازی هر فرایندی از اهمیت زیادی برخوردار است، برای سازگاری بهتر در سیستمهای بی‌هوازی، می‌بایست سیستم در ابتدا به صورت غیر پیوسته راهبری شده و سپس به سیستم پیوسته تبدیل گردد [۹]. پس از آب بندی و بررسی عملکرد سیستم پایلوت و اطمینان از عدم وجود نشتی، کار راه اندازی شروع شد. راه اندازی در حالت غیر پیوسته به مدت ۳۰ روز طول کشید و سپس راهبری به حالت پیوسته تبدیل گردید و ۶۰ روز ادامه داشت. برای تسریع در راه اندازی راکتور و به تعادل رسیدن سیستم، راکتور با حدود ۴ لیتر مخلوط لجن بی هوازی کشتارگاه و لجن حاصل از نگهداری شیرابه به مدت ۴۵ روز در یک ظرف در بسته تلقیح شد. به منظور ایجاد سازگاری لجن تلقیحی با شیرابه و شرایط سیستم و نیز برای رسیدن به یک محدوده مناسب بار آلودگی از نظر مقادیر COD و BOD، شیرابه خام توسط آب لوله کشی شهری رقیق گردید.

شیرابه مورد استفاده در این تحقیق، در غلظتهای COD برابر با ۱۲۰۰ تا ۶۴۴۳ میلی گرم در لیتر در شرایط ناپیوسته راهبری، و در غلظتهای ۵۷۶۸ تا ۲۵۹۶۰ میلی گرم در لیتر مورد بررسی قرار گرفت. خصوصیات شیرابه مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۱) آمده است. از آنجا که شروع کار در فصل تابستان انجام گرفت، دمای هوا برای فعالیت میکروارگانیسمهای بی هوازی مساعد بود. pH راکتور نیز در تمام طول مدت آزمایش در محدوده ۷-۸ بود که بهترین محدوده برای فعالیت میکروارگانیسمهای بی هوازی و متانزها در راکتور UASB می‌باشد [۱۲].

پس از راهبری ناپیوسته برای رسیدن به شرایط عملی و با توجه به حصول راندمان لازم برای کارکرد بهینه راکتور در COD بالا و اطمینان از فعالیت متان زایی لجن، در مرحله دوم کار، حالت سیستم به صورت پیوسته تغییر می‌کند. با توجه به حداقل سرعت بالاروی مورد نیاز برابر با ۰/۲-۰/۱ m/hr (به جهت جلوگیری از شستشوی لجن)، باید زمان ماند بین ۲۸-۱۸ ساعت برای سیستم تنظیم گردد.

برنامه عملی این مرحله، افزایش تدریجی غلظت شیرابه ورودی و اساس ارتقاء به پله بعدی، راندمان حذف COD ثابت در OLR مربوطه و استحصال بیوگاز قابل توجه به عنوان یک فاکتور تأییدی است. راندمان حذف COD در راکتور ارتباط مستقیم با حجم بیوگاز تولیدی دارد و اگر در مواردی درصد گاز متان، کم یا زیاد می‌شود گازهای دیگری نظیر CO<sub>2</sub> و H<sub>2</sub>S و غیره بیشتر تولید می‌شوند که این عملیات مربوط به فعالیت متان زاها می‌باشد [۲].

در مرحله راهبری پیوسته، افزایش نرخ بیوگاز تولیدی، بیانگر سازگاری میکروارگانیسمها با شرایط موجود و افزایش فعالیت باکتریهای متانزا است که با اندازه گیری حجم گاز به طور روزانه این مطلب تأیید شده و پس از چند روز، بارگذاری دوباره افزایش می‌یابد تا ظرفیت سیستم برای باردهی و کسب راندمان حذف بالا به همراه نرخ تولید بیوگاز سنجیده شود.

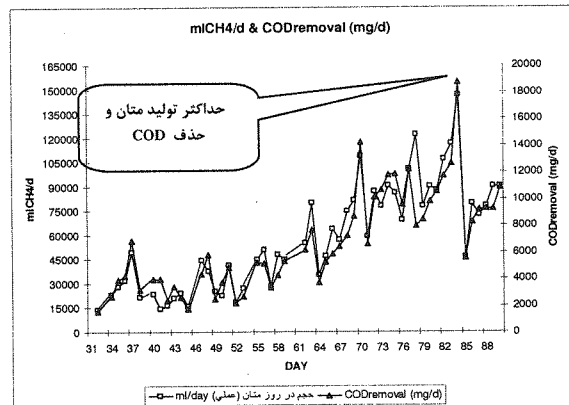
## ۵- نتایج

همانطور که در شکل (۳) دیده می‌شود، حجم بیوگاز تولیدی، در روزهای اول کمتر و سپس با گذشت زمان، همزمان با بیشتر شدن سازگاری میکروارگانیسمها با محیط، این حجم افزایش می‌یابد ولی پس از آن با وجود افزایش بارگذاری، تولید گاز افت شدیدی پیدا کرده است. این نتیجه بیان می‌کند که سیستم دیگر نمی‌تواند جوابگوی شوکهای ایجاد شده توسط بار ورودی بیشتر باشد.

جدول (۱): برخی از خصوصیات شیرابه مرکز دفن زباله کهریزک

تهران [۲۰]		
آلاینده	مقدار (mg/l)	میانگین (mg/l)
COD	۷۰۰۰-۹۰۰۰	۸۰۰۰
BOD	۲۴۰۰۰-۳۸۰۰۰	۲۱۰۰۰
TSS	۱۰۰۰-۶۷۰۰	۲۸۵۰
نیترات	۲۱۰-۳۰۰	۲۵۵
نیترژن آمونیاکی	۲۰۰-۲۷۰	۲۲۵
فسفات	۷۰-۹۰	۸۰
سولفات	۱۶۰۰-۲۰۰۰	۱۸۰۰
کلراید	۲۸۰۰-۴۴۰۰	۳۱۰۰

از سوی دیگر شکل (۳) نشان می‌دهد که تغییرات میزان حذف COD تقریباً مشابه تغییرات حجم متان تولیدی است و آنجا که حجم گاز متان نسبت ثابتی از حجم کل بیوگاز تولیدی می‌باشد، دبی COD حذفی متناسب با حجم کل بیوگاز تولیدی است. در جائیکه به نظر می‌رسد این تناسب و هماهنگی به هم خورده، پیش بینی می‌گردد که دخالت عوامل مختلفی از جمله عدم سازگاری میکروارگانیسمها با آلودگیهای جدید شیرابه ورودی، خطای دید، خطای اندازه گیری، غلظت فراوان سولفید هیدروژن و تأثیر آن بر ترکیب اکثر فلزات سمی، احتمال وجود اکسیژن و یا وجود نشستی در جایی از سیستم مؤثر بوده است. علاوه بر موارد یاد شده، تغییر احتمالی pH و دما در طول شبانه روزی تواند به شدت باکتریهای متانزا را تحت تأثیر قرار دهد.



شکل (۳): تغییرات نرخ تولیدی گاز متان و نرخ دبی COD حذفی در حالت پیوسته

در شکل‌های (۴) و (۵) و (۶) نتایج بدست آمده از داده‌ها را می‌توان چنین تحلیل نمود که ابتدا در بار آلی ورودی  $5/9 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$  راندمان حذف  $72/9\%$  و میزان تولید بیوگاز و گاز متان به ترتیب  $66583 \text{ ml/d}$  و  $49272 \text{ ml/d}$  است، سپس با افزایش COD ورودی تا  $8295 \text{ mg/l}$  و OLR برابر با  $7/1 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$  راندمان حذف و نرخ تولید بیوگاز و متان به ترتیب به  $48\%$  و  $31633 \text{ ml/d}$  و  $23409 \text{ ml/d}$  کاهش می‌یابد و پس از این مرحله با افزایش OLR و COD راندمان سیستم و نرخ تولید گاز بین  $40-60\%$  و  $15934-54704 \text{ ml CH}_4/\text{day}$  متغیر است. پس از فراهم آمدن راندمان لازم در COD بالا و افزایش قابل توجه قابلیت متانزایی لجن، در اواخر ماه و پس از انجام سیرکولاسیون و افزایش زمان ماند هیدرولیکی، راندمان حذف COD دوباره بیشتر می‌شود و سپس با مشاهده فعالیت مناسب متانزاها و تولید بیوگاز فراوان، بار ورودی بیشتر می‌گردد.

فرایند گرانول سازی در راکتور UASB یک فرایند انتخابی میکروبی در فشارهای دینامیکی مختلف است که به لجن وارد می‌شود. این شرایط دینامیکی، فیزیولوژیکی و بیولوژیکی خاص در نهایت و در باکتریهای توده‌ای خوب ته نشین شونده و حتی در توده های سبکتر، سبب تشکیل گرانولها می‌شود. این عمل پس از یک دوره راهبری خوب، بصورت تصاعدی افزایش می‌یابد. فرایند گرانول سازی در راکتور UASB تابع فاکتورهای زیادی مانند نوع میکروارگانیسمها، شرایط راهبری سیستم، ترکیب شیمیایی سیال آلوده و ... می‌باشد. ارتباط بین ترکیب شیمیایی سیال و فرایند گرانول سازی به معادلات انتقال جرم مربوط شده که به طور مستقیم فرایند گرانول سازی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یعنی به دلیل حضور ترکیبات پیچیده و سخت تجزیه پذیر در شیرابه، فرایند انتقال جرم از لایه‌های بیرونی گرانول‌های شکل گرفته در مرحله اول راه اندازی کند می‌گردد. با افزایش غلظت ترکیبات شیرابه در محیط، این فرایند کندتر می‌گردد. نتیجه چنین حالتی، تخریب هسته گرانولهای ضعیفتر از نظر پیوندهای بیولوژیکی، همچنین گرانولهای بزرگ، بدلیل نرسیدن ماده غذایی به باکتریهای هسته مرکزی و مرگ آنها و از هم پاشیدن پیوندهای بیولوژیکی می‌باشد. pH سیستم از مهمترین فاکتورهایی است که در این مرحله باید مورد توجه قرار گیرد و به لحاظ حساسیت متانزاها، بطور آنی بر روی کارایی سیستم تأثیر گذارد [۱۵]-[۱۶]-[۱۷]. اما در انتهای دوره، لجنها به ویژه در شیر پائینی سنگین تر شده و گرانولها بزرگتر می‌گردد. از طرفی مقدار TDS از بالا به پائین و مقدار TVDS از پائین به بالا افزایش می‌یابد. برای کنترل سیستم در این مرحله، اندازه گیریهای TS، غلظت اسیدهای چرب فرار و قلیائیت نمونه‌ها به طور تصادفی انجام می‌گردد. گاز تولیدی در این مرحله بصورت حبابهای ریز، از نواحی بستر لجن و پوشش لجن، در حرکت رو به بالا، مقداری از دانه های لجن چسبیده به خود را به بالای راکتور انتقال خواهد داد، بدین ترتیب برخورد بین فاضلاب و لجن بطور مناسبی انجام شده و لجن گرانول در کل راکتور، پخش می‌گردد. در حرکت رو به بالای جریان و حباب گازها، مقداری از لجنها و مواد معلق به سمت بالا حرکت می‌کنند که گاز تولیدی، در بخش جداکننده فازی از ذرات لجن چسبیده به آن جدا گشته و در جمع کننده گاز که معمولاً بصورت قیفی وارونه می‌باشد، جمع آوری می‌گردد. جهت جلوگیری از بسته شدن مجاری جمع آوری گاز نیز، اختلاف هدی (h)، بصورت هیدرولیکی ایجاد می‌شود. اندازه گیریهای مربوط به درصد گاز متان تولیدی نشان می‌دهند که میزان متوسط درصد گاز متان موجود در بیوگاز خروجی از راکتور UASB در هضم بی‌هوازی،  $74\%$  می‌باشد که با ضرب

کردن این عدد در نرخ بیوگاز تولیدی، نرخ گاز متان تولیدی محاسبه می‌شود.

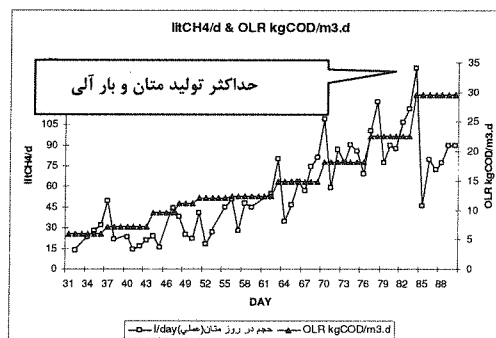
مقادیر MLSS و MLVSS نشان می‌دهند که به طور کلی راندمان حذف مواد آلی در سیال با قطر گرانولها و اندازه ذرات و کاهش غلظت COD با اندازه گرانولها رابطه مستقیم دارند که علت آن در اصل، انباشته شدن میکروارگانیسمهای فعال در ساختار گرانولها و افزایش کارایی آن می‌باشد. راندمان حدود ۷۰٪ در سیستم در یک سوم پایینی ارتفاع راکتور تأییدی بر این موضوع است. اندازه گیری درصد حذف COD در ارتفاعهای مختلف راکتور نیز نشان می‌دهد که افزایش بیش از اندازه آن هیچ تأثیری در افزایش کارایی راکتور ندارد.

در کل نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که: با کنترل پارامترهای مهم نظیر دما، pH، قلیائیت، اسیدهای آلی، مواد مغذی، تغییرات نرخ تولید بیوگاز و درصد متان آن بر حسب تغییرات COD ورودی و راندمان حذف عبارتست از: با افزایش غلظت COD ورودی، راندمان حذف آن و حجم بیوگاز تولیدی، در ابتدا کاهش پیدا کرده و سپس با افزایش تطابق پذیری لجن (حدود ۵ روز) با بار ورودی، راندمان حذف و حجم بیوگاز بیشتر می‌شود. افزایش بار نسبت به بار قبلی حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد بوده و تا زمانی که لجنها قادر به پذیرش بار بیشتر نباشند و حجم بیوگاز تولیدی تا مقدار قابل قبولی به تدریج افزایش نیابد، مقدار بار ورودی بیشتر نمی‌گردد.

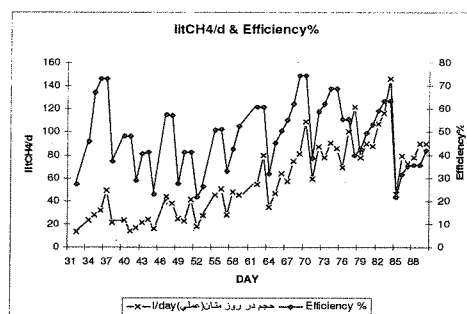
بیوگاز استحصال شده دارای حدود ۶۰-۸۰ درصد گاز متان می‌باشد و مقدار بهینه بیوگاز و گاز متان تولیدی به ترتیب ۵۱۸ میلی لیتر بیوگاز به ازای هر گرم COD حذفی و ۲۸۳ میلی لیتر متان به ازای یک گرم COD است. بیشترین مقدار حذف COD مرتبط با حداکثر گاز متان تولیدی است و چون COD محلول در هاضم بی‌هوازی به بیوگاز و لجن تبدیل می‌گردد، افزایش میزان حذف، تولید گاز بیشتری را نتیجه می‌دهد. روند نمودار منطقی بوده و حداکثر حذف و تولید گاز در همان روز ۸۴ ام از شروع کاربری راکتور اتفاق می‌افتد که در آن مقدار حذف COD برابر  $1260.5/4 \text{ mg/l}$  و حجم بیوگاز و متان تولیدی به ترتیب  $197485 \text{ ml/d}$  و  $146139 \text{ ml/d}$  بوده است.

باکتریهای متانزا نسبت به باکتریهای اسید دوست حساسیت بیشتری در برابر تغییرات درجه حرارت محیط از خود نشان می‌دهند. با توجه به اینکه راه اندازی و راهبری پایلوت ساخته شده، در فصل تابستان و اوایل پاییز اتفاق افتاد، این پارامتر مهم به طور کلی تأمین شد. ولی در برخی ساعات شبانه روز از جمله شبها، احتمالاً دمای سیستم کاهش یافته است. به منظور اجتناب از اثر ممانعت کنندگی اسیدهای چرب فرار بر رشد باکتریهای متانزا و فرایند گرانول سازی، غلظت VFA همواره کنترل شده و کمتر از  $2000 \text{ mg/l}$  و در حدود  $1400-1200 \text{ mg/l}$  نگه داشته شد.

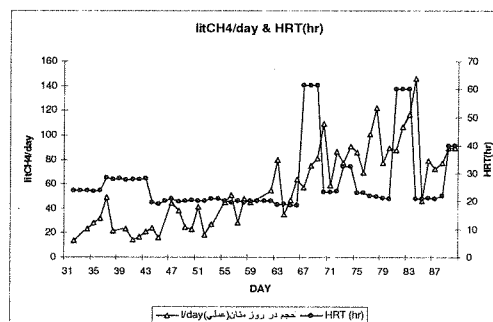
میزان گاز متان تولیدی در این سیستم با راندمان حذف COD، دما، pH، زمان ماند هیدرولیکی رابطه مستقیم و با میزان بار ورودی رابطه عکس دارد. کارکرد بهینه راکتور UASB مربوط به میزان مواد آلی ورودی به آن در واحد حجم و واحد زمان و غلظت مواد غذایی برای میکروارگانیسمها می‌باشد. زمان ماند هیدرولیکی در راکتورهای UASB، بطور معمول از ۴ تا ۱۲ ساعت، در نظر گرفته می‌شود. دو عامل مهمی که زمان ماند



شکل (۴): تغییرات نرخ تولید گاز متان و OLR در راهبری پیوسته



شکل (۵): تغییرات نرخ تولید گاز متان و راندمان حذف در راهبری پیوسته



شکل (۶): تغییرات نرخ تولید گاز متان و HRT در راهبری پیوسته

- Hobson. P.N; "Anaerobic Digestion", Modern Theory and Practice, Elsevier Publication, 1993
- Frassinetti P., Cavalcanti F.; Integrated Application of the UASB Reactor & Ponds for Domestic Sewage Treatment in Tropical Regions ,Thesis Wageningen University , The Netherlands ,2003
- Correa B. , Ruiz E. and Romero F.; "Evolution of Operational Parameters in a UASB Wastewater Plant" ,Water SA, Vol.29 No.3, pp345-351 ,July 2003
- Vieira.S.M.M. & Garcia Jr. A.D.; "Sewage treatment by UASB reactor- Operating results recommendations for design and utilization", Journal of Water Science and Technology, Vol. 25(7), pp 143-157 , 1992
- Hulshoff Pol L.W. , Castro Lopes S.I.,Lettinga G.; "Anaerobic Sludge Granulation", Water Research Journal, Vol. 38, pp 1376-1389 , 2004
- Yu Liu ,Hai-Lou Xu ,Shu-Fang Yang ,Joo-Hwa Tay; "Mechanisms and Models for Anaerobic Granulation in Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor", Water Research Journal, Vol. 37, pp 661-673, 2003
- Grotenhuis J.T.V., Kissel J.C.; "Role of substrate concentration in particle size distribution of methanogenic granular sludge in UASB reactors", water Research Journal. Vol. 25 (1), pp 21-27, 1991
- APHA, AWWA, and WEF; Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, joint of American Public Health Association, the American Water Works Association, and the Water Environment Federation, 2004
- تهران زیست؛ طرح تصفیه شیرابه کهریزک، سازمان بازیافت و تبدیل مواد زائد جامد شهری، تهران، ۱۳۷۹
- پاسدار، ساناز؛ بررسی و طراحی سیستم مناسب تولید گاز متان از تصفیه مایعات خروجی (شیرابه) مراکز دفن، پایان نامه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۴
- Leena J., Ari O., A. Rintalaa; "Treatment of Leachate from MSWI Bottom Ash Landfill with Anaerobic Sulphate-reduction Process", Water Research, Vol. 41, p.p. 835 – 841, 2007
- Parawira W., Murtoa M., Zvauyab R., Mattiasson B.; "Comparative performance of a UASB reactor and an anaerobic packed-bed reactor when treating potato waste leachate", Renewable Energy, Vol. 31, p.p. 893–903, 2006
- Osman N., Delia T., "Anaerobic/aerobic treatment of municipal landfill leachate in sequential two-stage up-flow anaerobic sludge blanket reactor (UASB)/completely stirred tank reactor (CSTR) systems", Process Biochemistry, Vol. 40, p.p. 895–902, 2005
- [۱۱] را می‌تواند کوتاهتر نماید، فرم و اندازه گرانول‌های تشکیل شده
- [۱۲] در راکتور و وجود کانال های عبوری شیرابه در بستر لجن است.
- [۱۳] سرعت بالاروی در رآکتور UASB اگر از حدی فراتر رود، با توجه به درجه حرارت داخل رآکتور، راندمان حذف بطور ناگهانی کاهش خواهد یافت. سرعت بالاروی بحرانی در رنج تغییرات ۰/۲۳ تا ۰/۶۷ متر بر ساعت توصیه می‌شود.
- [۱۴] در برخی موارد مقدار  $H_2S$  را بیش ۱۱۲ ppm بوده است که بیانگر غلظت زیاد سولفات در ترکیبات شیرابه می‌باشد و غلظتهای بالای  $H_2S$  خاصیت سمی داشته و تولید متان را مختل می‌کند.
- [۱۵]
- [۱۶]
- [۱۷] **۶- مراجع**
- [۱] Hall S.; International Source Book On Environmentally Sound Technologies, Wastewater and Storm water Management, Newsletter and Technical Publications, 2000
- [۲] Uri Marchaim; Biogas Processes for Sustainable Development, FAO, 1992
- [۳] McCarty; Anaerobic wastewater treatment , Public Works- Stanford University, 1964
- [۴] Gregory D. Rose; Wastewater Treatment- report 27, IDRC Publication, 1998
- [۵] Lettinga. G.; Use of the upflow sludge blanket reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. Biotechnology and Bioengineering Publication, pp 22,699-734, 1980
- [۶] Keller J. and Hartley K.; "Greenhouse Gas Production in Wastewater Treatment:Process Selection is the Major Factor", Water Science and Technology Vol.47 No.12 pp.43-48 ,2003
- [۷] Lettinga G., Rebac S. , Parshina S., Nozhevnikova A., Jules B. Lier V., and Stams J.M.; "High-Rate Anaerobic Treatment of Wastewater at Low Temperatures", Applied and Environmental Microbiology, p. 1606-1702, Vol. 65, No. 4, April
- [۸] Bitton G.; Wastewater Microbiology, A John Wiley & Sons, INC. Publication, 1999
- [۹] Berrueta J. Gutierrez A. & Fueyo G.; "Anaerobic Treatment of Leachate in Pilot – scale UASB: Strategy of start – up", Journal of chemical of technology and bio technology, pp 67, 302-314, 1996
- [۱۰] Punal A. ,Brauchi S. ,Reyes J.G. and Chamy R.; "Dynamics of Extra cellular Polymeric Substances in UASB and EGSB Reactors Treating Medium and Low Concentrated Wastewater" ,Water Science and Technology, Vol.48, No.6 pp.41-49 ,2003

## ۷- زیر نویس ها

- <sup>1</sup> High Rate
- <sup>2</sup> Upflow Anaerobic Sludge Blanket
- <sup>3</sup> Adenosine Troposphere