Stability of Thermophilic Up - flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor with Temperature Shocks

Taheri Shahraini, H.

MSc. Student, Civil Engineering Department, Sharif University of Technology

Abstract

Anaerobic systems such as UASB reactors are used widely for treatment of industrial wastewaters. The thermophilic anaerobic systems have been known as stable and less affected systems by temperature shocks. But in mesophilic systems, temperature shock could result in unstable performance and in some extreme cases complete failure. There is little information in the literature about the stability of thermophilic systems with temperature shocks.

In this paper, thermal stability of a thermophilic UASB reactor with temperature shocks is studied. Start up of reactor was performed by addition of sludge taken from an anaerobic lagoon. The volume of reactor was 480L and wastewater of alcohol production plant was used in this study. These temperature shocks consisted of rapid and slow increase and rapid and slow decrease of temperature. Eight consecutive shocks were applied to the system in a period of two months and pH, COD removal efficiency and organic loading rate(OLR) were determined. The results of these experimennts showed that Thermophilic systems are very stable and not much affected by temperature shocks. They also showed that thermophilic biogranules increased the stability.

بررسی پایداری راکتور UASB ترموفیلیک در برابر شوک دما

حمید طاهری شهرآئینی *

چکیده

سیستم‌های بی‌هوازی مثل راکتور UASB، در تصفیه پساب‌های صنعتی کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند. گفته می‌شود که سیستم ترموفیلیک بی‌هوازی نسبت به شوک‌های دمایی بسیار مقاوم است. این در حالی است که سیستم مزوفیلیک در اثر وارد شدن شوک‌های دمایی از خود ضعف نشان داده و یا حتی از کار می‌افتد. تحقیقات کمی در مورد مقاومت سیستم ترموفیلیک در مقابل شوک‌های دمایی انجام شده است. در این تحقیق پایداری حرارتی یک راکتور UASB ترموفیلیک که به وسیله لجن بی‌هوازی یک لاگون بی‌هوازی راه‌اندازی شده بود و حجمی در حدود ۴۸۰لیتر داشت، نسبت به شوک‌های کاهش یا افزایش تدریجی دما و کاهش یا افزایش سریع دما بررسی شد. این شوک‌ها به صورت ۸شوک متوالی طی مدت زمانی حدود ۲ ماه به سیستم وارد شد. در طی شوک‌ها، pH و بازده حذف COD و بار آلی اندازه‌گیری شد. پساب مصرفی جهت آزمایش‌ها، پساب واحد تولید الکل از ملاس بود.

نتایج به دست آمده از شوک‌های مذکور از پایداری شدید سیستم ترموفیلیک، نسبت به شوک دما خبر می‌داد. همچنین آزمایش‌ها نشان دادند که گرانوله شدن باکتری‌های سیستم باعث افزایش پایداری سیستم در مقابل شوک دما می‌گردد.

مقدمه

مدت‌های طولانی است که از فرایند بی‌هوازی جهت هضم و تثبیت لجن فاضلاب استفاده می‌شود [۲]. در حال حاضر استفاده از فرایند بی‌هوازی محدوده وسیعی یافته است (مثل تصفیه فاضلاب صنعتی، شهری، دامداری و کشاورزی) [۴]. فرایند بی‌هوازی قابلیت انعطاف زیادی مخصوصاً جهت تصفیه پساب‌های صنعتی در شرایط مختلف مزوفیلیک و ترموفیلیک را داراست [۷]. راکتور UASB یک نوع از راکتورهای بی‌هوازی مورد استفاده جهت تصفیه پساب‌های صنعتی با CODهای متفاوت می‌باشد [۶]. بیشتر سیستم‌های تصفیه در شرایط مزوفیلیک کار می‌کنند و مطالعات کمی روی سیستم‌های ترموفیلیک انجام شده است. این در حالی است که سیستم‌های ترموفیلیک با سرعت بیشتری آلاینده‌ها را تجزیه می‌کنند. از طرف دیگر برای پساب‌های با دمای بالا احتیاجی به سردکردن پساب نمی‌باشد [۵]. یکی از معایب فرایندهای بی‌هوازی این است که به شرایط محیطی وابسته‌اند [۷]. اثر شوک دمایی می‌تواند مربوط به میزان تغییرات دما در اثر شوک، مدت زمان در معرض شوک قرارگرفتن و ترکیب لجن باشد [۵].

در سیستم‌های مزوفیلیک شوک دمایی می‌تواند باعث از

* - دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

کار افتادن سیستم گردد. به همین خاطر بایستی در سیستم‌های مزوفیلیک دما در طی فرایند تصفیه بی‌هوازی کنترل شود. این در حالی است که اطلاعات موجود، از مقاومت سیستم‌های ترموفیلیک در برابر شوک‌های دمایی خبر می‌دهد [۵].

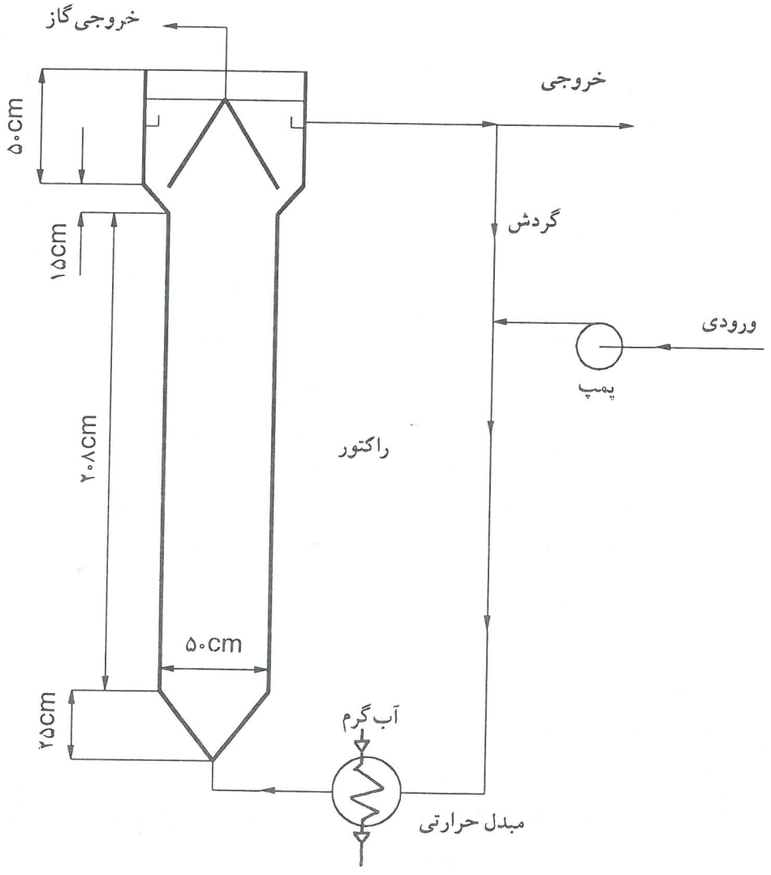
در این تحقیق، پایداری حرارتی باکتری‌های ترموفیلیک در مقابل شوک‌های حرارتی مختلف، با مدت زمان اثر متفاوت و همچنین پایداری و تطبیق‌پذیری آنها در اثر وارد شدن شوک‌های مختلف بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

۱- مشخصات راکتور و سیستم‌های جانبی

راکتور مورد استفاده از نوع UASB با جنس شیشه‌ای و حجم حدود ۴۸۰لیتر بود. اندازه قسمت‌های مختلف این راکتور در شکل ۱ مشخص شده است. بر روی این راکتور یک سنسور دما نصب شده بود که برای کنترل مورد استفاده قرار می‌گرفت. خوراک ورودی به این راکتور پس از آماده‌سازی به وسیله یک پمپ دیافراگمی با دبی ثابت به راکتور از قسمت پایین تزریق می‌شد و فاضلاب تصفیه شده از بالای راکتور خارج می‌گشت. برای ایجاد یک همزدگی خوب در داخل راکتور مقداری از خروجی راکتور برگردانده می‌شد و دوباره از ته راکتور وارد می‌گشت.

جهت گرم کردن فاضلاب و راکتور برای رسیدن به دماهای مورد نظر از یک مبدل حرارتی استفاده می‌شد که



شکل ۱- نمای شماتیک سیستم

آب داغ عامل گرم کردن مجموع پساب خام و دبی سیرکولاسیون در این مبدل بود و پمپ آب داغ توسط یک کنترلر از سنسور متصل به راکتور دستور می‌گرفت و بدین صورت دمای راکتور کنترل می‌شد.

۲- مشخصات لجن سیستم و فاضلاب مصرفی و روش آزمایش

این راکتور توسط لجن یک لاگون بی‌هوازی که وظیفه تصفیه پساب واحد الکل‌سازی از ملاس را بر عهده داشت راه‌اندازی شد. البته قبل از انتقال لجن به راکتور، لجن روزانه ۲ درجه سانتی‌گراد داغ می‌شد تا به ۵۵ درجه سانتی‌گراد رسید و آنگاه لجن به راکتور تزریق شد. لاگون بی‌هوازی مذکور، خود توسط کودگاوی راه‌اندازی شده بود. پساب مصرفی، پساب واحد تولید الکل از ملاس بود. این پساب دمایی بیش از ۷۰ درجه سانتی‌گراد داشت و COD آن حدود ۴۵۰۰۰mg/L بود. البته در آزمایش‌ها، پساب مذکور رقیق شده و سپس مورد استفاده قرار می‌گرفت. نحوه انجام آزمایش‌ها بدین صورت بود که پس از آن که چند ماه از راه‌اندازی سیستم گذشت (حدوداً ۵ ماه) طی مدت ۵۳ روز تعداد ۸ شوک دمایی مشخص به سیستم اعمال شد و در طی هر شوک بار آلی بر حسب ($\frac{KgCOD}{m^3.day}$) و همچنین بازده (راندمان) حذف COD و pH اندازه گیری می‌شدند و تأثیر شوک دمایی روی COD و pH سنجیده می‌شد. شایان ذکر است که در راکتور در طی شوک‌های اول تا پنجم تقریباً نشانی از گرانول وجود نداشت ولی از زمان شوک پنجم به بعد باکتری‌های گرانوله (با قطر حدود ۱میلی‌متر) در راکتور به طور مشخص دیده می‌شدند.

اندازه گیری پارامتر COD بر حسب روش مذکور در APHA انجام گرفته است [۱].

نتایج و بحث

الف: شوک‌های دمایی

نتایج ناشی از شوک‌های مختلف در شکل‌های ۲ تا ۵ آمده است.

۱- شوک دمایی اول

در این شوک که در روز اول به سیستم اعمال شد دما از ۵۵°C به ۳۰°C کاهش یافت و پس از ۲ روز گرم کردن به ۴۵°C رسید. به علت افت pH و همچنین ناپایداری سیستم نسبت به شوک، خوراک‌دهی قطع شد و پس از آن که دما به ۴۵°C رسید خوراک‌دهی دوباره با بار ($\frac{KgCOD}{m^3.day}$) ۷/۰ آغاز شد.

۲- شوک دمایی دوم

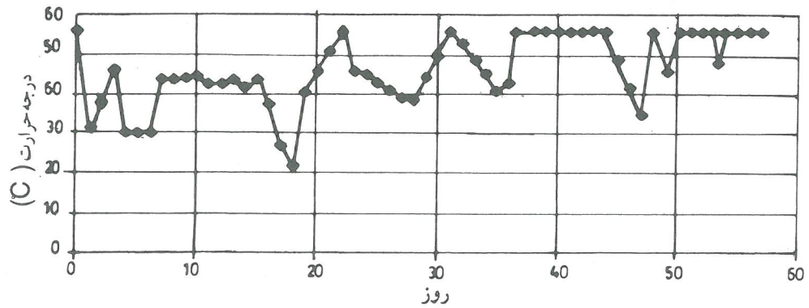
این شوک بلافاصله پس از شوک اول آغاز شد و طی آن دما از ۴۵°C به ۲۹°C کاهش یافت. بار سیستم حدود ($\frac{KgCOD}{m^3.day}$) ۷/۰ بود. در اثر این شوک دمایی، pH به افت خود ادامه داد تا به حدود ۶/۳۵ در روز ششم رسید و بازده از ۵۵٪ به ۲۵٪ افت پیدا کرد. به علت شرایط ایجاد شده دما را تا ۴۳°C افزایش دادیم و بار را تا حدود ($\frac{KgCOD}{m^3.day}$) ۴/۶ کم کردیم. دما به مدت ۸ روز در ۴۳°C ثابت ماند و این باعث شد که pH آرام آرام افزایش یابد و بازده هم به سرعت افزایش پیدا کرد. بار سیستم در این ۸ روز حدود ($\frac{KgCOD}{m^3.day}$) ۴/۰ بود.

همان طور که مشاهده می‌شود پس از شوک دمایی دوم، سیستم نسبت به دمای ۴۳°C پایداری نسبی کسب نموده است. اما قصد بر این بود که پایداری‌های بهتر و متنوع‌تری از سیستم دیده شود و به همین خاطر وارد کردن شوک دمایی ادامه یافت.

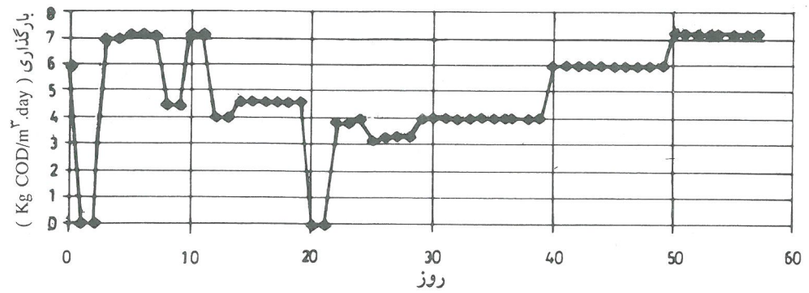
۳- شوک دمایی سوم

این شوک در روز پانزدهم آغاز گشت و طی آن دما از ۴۳°C به ۲۱°C کاهش یافت. بازده حذف متعاقباً تا حدود ۱۳٪ و pH تا حدود ۶/۲ کاهش یافت. این در حالی بود که سیستم دارای بار حدود ($\frac{KgCOD}{m^3.day}$) ۵/۰ بود. در نتیجه مجبور به افزایش سود (NaOH) شدیم تا این که pH تا حدود ۷/۰ افزایش پیدا کرد. کاهش دما از ۴۳°C به ۲۱°C طی ۳ روز انجام گرفت و پس از آن که دما به ۲۱°C رسید طی مدت یک روز، دما به مقدار ۴۰°C افزایش یافت و طی ۳ روز بعد از آن دما به ۵۵°C رسانیده شد.

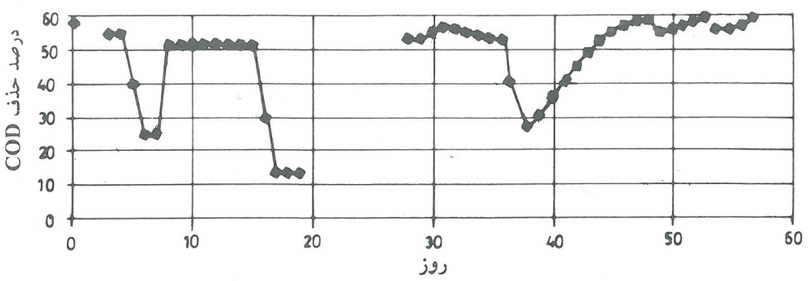
روز بیست و دوم دمای راکتور ۵۵°C بود. شایان ذکر است که طی روزهای نوزدهم تا بیست و دوم خوراک‌دهی به سیستم به علت پایین آمدن بازده حذف قطع شد. با آن که سیستم نسبت به دمای ۴۳°C پایداری نشان می‌داد، اما اگر دما خیلی زیاد و تا حدود ۳۱°C افت می‌کرد پایداری به شدت کاهش می‌یافت. به همین خاطر می‌توان گفت که سیستم ترموفیلیک نسبت به شوک‌های دمایی که کاهش دما در آن بسیار زیاد است ناپایدار



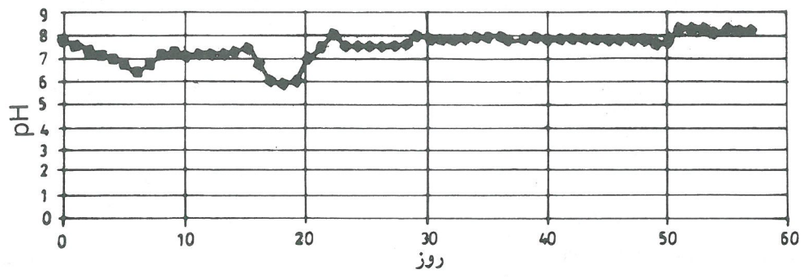
شکل ۲- شوک‌های دمایی مختلف و تغییرات دما طی هر شوک



شکل ۳- بار آلی سیستم بر حسب ($\frac{KgCOD}{m^3.day}$) طی شوک‌های مختلف



شکل ۴- تغییرات بازده (راندمان) حذف COD طی شوک‌های مختلف



شکل ۵- تغییرات pH طی شوک‌های مختلف

است و مقاومت کمی از خود نشان می‌دهد.

۴- شوک دمایی چهارم

همین که دما در روز بیست و دوم به $55^{\circ}C$ رسید، شوک دیگری به سیستم اعمال شد. بدین صورت که دما از $55^{\circ}C$ طی ۶ روز به حدود $37^{\circ}C$ رسید و سپس از روز بیست و هشتم تا روز سی و یکم افزایش دما داشتیم تا این که دما در روز سی و یکم به حدود $55^{\circ}C$ افزایش یافت. این در حالی بود که بار سیستم طی این شوک ($\frac{KgCOD}{m^3.day}$) ۴/۰-۳/۳ بود. بازده حذف COD طی روزهای بیست و هشتم تا سی و یکم حدود ۵۷٪ - ۵۳٪ بود و pH در روزهای بیست و هشتم تا سی و یکم بین ۸/۰-۷/۸ متغیر بود. این شوک نشان می‌داد که این سیستم حتی در برابر شوک‌های دمایی تا حدود $37^{\circ}C$ مقاوم است و کاملاً از خود پایداری نشان می‌دهد. در صورتی که کاهش و افزایش تدریجی دما بین $55^{\circ}C$ - $37^{\circ}C$ باشد سیستم ترموفیلیک به راحتی از خود پایداری و مقاومت نشان می‌دهد.

۵- شوک دمایی پنجم

این شوک که کاهش تدریجی و افزایش ناگهانی دما است به صورت زیر اعمال شد :

طی روزهای سی و یکم تا سی و پنجم دما کاهش داده شد تا از $55^{\circ}C$ به حدود $45^{\circ}C$ برسد. طی این مدت pH نه تنها کاهش نداشت بلکه افزایش هم از خود نشان داد. بازده حذف هم تغییر بسیار کمی داشت و از ۵۷٪ به مقدار ۵۳٪ کاهش یافت که مؤید این مطلب بود که سیستم نسبت به شوک دمایی مقاوم است.

برای تعیین حساسیت سیستم نسبت به افزایش سریع دما، ظرف مدت زمان ۱۲ ساعت دما را از $42^{\circ}C$ به $55^{\circ}C$ رساندیم. این عملیات در روز سی و ششم انجام گرفت.

pH در اثر شوک مقداری افزایش و کاهش از خود نشان داد ولی بازده حذف شروع به افت نمود و از ۵۳٪ به ۳۶٪ در روز سی و هفتم رسید و در روز سی و هشتم کاهش به حدی بود که بازده حذف به ۲۶٪ رسید. در این حال بود که ما بار آلی سیستم را از ۴/۰ به ۶/۰ افزایش دادیم ولی بازده حذف COD شروع به افزایش نمود. با توجه به این که ما بار سیستم را زیاد کرده بودیم و به سیستم شوک وارد شده بود، اگر باکتری‌ها در اثر شوک فعالیت‌شان کم شده بود و حساسیت از خود نشان می‌دادند، امکان زیاد شدن بازده به این سرعت، بعید بود. پس این افزایش بازده خود بیانگر تطبیق‌پذیری باکتری‌ها ترموفیلیک با شوک افزایش سریع دما بود.

نتیجتاً بعد از ۵ روز از زمان شوک بازده حذف COD به حدود ۵۰٪ رسید.

۶- شوک دمایی ششم

طی این شوک، دما از روز چهل و چهارم تا روز چهل و هفتم کاهش یافت تا نهایتاً در روز چهل و هفتم به $34^{\circ}C$ رسید. طی این مدت سیستم کاملاً پایدار بود و pH هیچگونه تغییری از خود نشان نداد و بازده حذف COD به افزایش خود ادامه داد. سپس در روز چهل و هفتم طی مدت ۱۰ ساعت دما از $34^{\circ}C$ به $55^{\circ}C$ افزایش یافت. اما سیستم باز هم بسیار پایدار بود و تطبیق‌پذیری بسیار زیادی با شوک مذکور از خود نشان داد و تغییرات pH و بازده حذف COD ناچیز بود. شایان ذکر است که در این روزها آثار وجود گرانول‌های باکتری در سیستم کاملاً مشخص بود و راکتور دارای گرانول‌هایی با قطر حدود ۱ میلی‌متر بود و شاید یکی از عواملی که باعث شده بود که سیستم نسبت به شوک‌های سریع دمایی، مقاومت از خود نشان دهد وجود همین گرانول‌ها بوده است. شاید این شوک و شوک شماره ۵ و تفاوت بین آنها مؤید این مطلب باشد که گرانول‌های باکتری باعث بهبود پایداری حرارتی در سیستم‌های UASB می‌شوند.

۷- شوک دمایی هفتم

بار دیگر شوک دمایی شدیدی در روز چهل و هشتم به سیستم اعمال کردیم و طی این شوک دمایی سیستم در روز چهل و نهم به $45^{\circ}C$ رسید و سپس دما افزایش داده شد تا این که در روز پنجاهم دمای راکتور به $55^{\circ}C$ رسید که باز هم بازده حذف و pH تغییر چندانی نکرد که نشان از پایداری و تطبیق‌پذیری باکتری‌ها در برابر شوک‌های دمایی بود.

۸- شوک دمایی هشتم

نهایتاً به عنوان آخرین شوک حرارتی، در روز پنجاهم بار سیستم را به مقدار ($\frac{KgCOD}{m^3.day}$) ۷/۳ افزایش دادیم و پس از ۳ روز یعنی در روز پنجاه و سوم طی مدت زمانی کمتر از یک روز دما از $55^{\circ}C$ به $47^{\circ}C$ رسانیده و دوباره سریعاً به $55^{\circ}C$ افزایش دادیم. طی این شوک بازده حذف COD از ۵۹٪ به ۵۶٪ افت پیدا کرد که

ناچیز بود و pH هم در حدود ۸/۳ باقی ماند و تغییر چندانی نکرد. این شوک هم دلیلی دیگر بر پایداری حرارتی سیستم ترموفیلیک UASB بود.

ب : علت کاهش pH و بازده حذف COD در اثر شوک دمایی

علت کاهش pH موقعی که سیستم پایدار نشده است مربوط به تجمع اسیدهای چرب فرار (VFAS) در سیستم است [۵]. اما علت این که اسیدهای چرب فرار در سیستم زیاد می‌شوند این است که کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها تبدیل به قندها و آمینواسیدها می‌شوند و سپس به وسیله باکتری‌های اسیدزا تبدیل به ترکیبات میانی همچون بوتیرات و پروپیونات و دیگر اسیدهای چرب فرار می‌شوند. این ترکیبات میانی به وسیله باکتری‌های استات‌زا تبدیل به استات می‌شوند و پس از آن استات‌ها به وسیله متانزاهای استوتروف تبدیل به متان می‌شوند و H_2 و CO_2 تولید شده از مراحل قبلی توسط متانزاهای هیدروژنوتروف تبدیل به متان می‌شوند [۳]. واکنش‌های تبدیل بوتیرات و پروپیونات به متان به صورت زیر است :

$$CH_3\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}COO^- + 2H_2O \rightarrow CH_3\text{-}COO^- + 2H_2 + H^+ \quad \Delta G = 76/1\ (K_J) \qquad (1)$$

$$CH_3\text{-}CH_2\text{-}COO^- + 3H_2 \longrightarrow CH_3\text{-}COO^- + 3H_2 + HCO_3^- + H^+ \quad \Delta G = 76/1\ (K_J) \qquad (2)$$

$$CH_3\text{-}COO^- + H_2O \longrightarrow CH_4 + HCO_3^- \quad \Delta G = -31\ (K_J) \qquad (3)$$

$$H_2 + HCO_3^- + H^+ \longrightarrow CH_4 + 3H_2 \quad \Delta G = -135/4\ (K_J) \qquad (4)$$

همان طور که مشاهده می‌شود انرژی آزاد گیبس واکنش‌های ۱ و ۲ مثبت می‌باشد. یعنی این واکنش‌ها خود به خودی انجام نمی‌شوند، مگر اینکه محصولات این واکنش‌ها مصرف شوند تا باعث شود واکنش‌های ۱ و ۲ به سمت راست جابجا شوند. از طرفی مصرف شدن محصولات مذکور منوط به واکنش‌های ۳ و ۴ می‌باشد. حال اگر باکتری‌های مراحل ۳ و ۴ در اثر تغییرات دما فعالیت‌شان کاهش یابد نتیجتاً غلظت استات به علت مصرف نشدن در سیستم بالا می‌رود. افزایش استات در سیستم باعث می‌شود که واکنش‌های ۱ و ۲ به سمت راست جابجا نشوند و غلظت اسیدهای چرب فرار در سیستم زیاد شود و افزایش اسید در سیستم معادل کاهش pH است [۵].

در مورد کاهش بازده حذف COD نیز می‌توان گفت که بایستی مواد آلی به CH_4 تبدیل شوند و از سیستم خارج شوند تا این که COD محلول کاهش پیدا کند. اما با تجمع اسیدهای چرب فرار و مصرف نشدن آنها، COD محلول افزایش می‌یابد و نتیجتاً بازده حذف COD کاهش پیدا می‌کند.

ج : مقاومت سیستم مزوفیلیک در مقابل شوک دما

تحقیقاتی که بر روی راکتور مزوفیلیک UASB با دمای $38^{\circ}C$ انجام شده، نشان داده است که اگر دمای سیستم به مدت ۵ ساعت به $64^{\circ}C$ - ۶۱ افزایش یابد سیستم به نحوی از کار می‌افتد که دوباره نمی‌تواند فعالیت خود را بازیابد. تحقیقات دیگری که بر روی یک بیوفیلتر مزوفیلیک انجام شده، نشان داده است که اگر دما به $50^{\circ}C$ افزایش یابد و مدت ۷ ساعت در این دما بماند، بازده آن از ۸۵٪ به ۴۵٪ افت پیدا می‌کند. در حالی که راکتور UASB ترموفیلیک می‌تواند در محدوده $60^{\circ}C$ - ۴۵ دارای پایداری حرارتی باشد [۵].

نتیجه گیری

از تحقیق حاضر می‌توان چنین نتیجه گرفت که یک سیستم ترموفیلیک بی‌هوازی می‌تواند نسبت به شوک‌های مختلف دما، همچون شوک کاهش یا افزایش تدریجی و یا شوک کاهش و افزایش سریع دما از خود پایداری نشان دهد و با شوک دمایی وارد شده خو بگیرد. به همین دلیل لازم نیست در موقع وارد شدن شوک دمایی به سیستم ترموفیلیک بار سیستم کاهش داده شود.

وارد شدن شوک‌های دمای متوالی به سیستم ترموفیلیک، باعث افزایش پایداری نسبت به شوک‌های دمایی می‌شود و باعث می‌شود که باکتری‌ها نسبت به شوک‌های دمایی خو بگیرند.

باکتری‌های گرانوله باعث ایجاد مقاومت و پایداری زیادی در سیستم نسبت به موقعی که باکتری‌ها گرانوله نشده‌اند،

می‌شوند و یکی از مزایای گرانوله شدن با کتری‌ها، افزایش پایداری حرارتی سیستم می‌باشد.

همچنین می‌توان گفت که سیستم ترموفیلیک از نظر پایداری حرارتی توان بیشتری نسبت به سیستم مزوفیلیک داراست و سیستم ترموفیلیک نسبت به طیف وسیعی از تغییرات دمایی پایدار است. با توجه به آزمایش‌های انجام شده به جرأت می‌توان گفت که سیستم ترموفیلیک نسبت به هرگونه شوک دمایی در محدوده $55^{\circ}C$ - ۴۰ پایدار است.

منابع و مراجع

1- APHA, (1985)." *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ", 16th Ed., American Health Association, Washington.

2- Bitton, G. (1999). " *Wastewater Microbiology* ", 2nd Ed., Wiley-Liss.

3- Gujer, W., and Zehnder, A.J.B. (1983). " *Conversion Processes in Anaerobic Digestion* ", Wat. Sci. Tech., 15:127-167.

4- Kiely, G. (1996). " *Environmental Engineering* ", McGraw - Hill Book Co., N.Y.

5- Lau Ivan, W.C., and Fang, H.H.P. (1997). " *Effect of Temperature Shock to Thermophilic Granules* ", Wat. Res., 31(10): 2626-2632.

6- Narnoli, S.K. and Mehrotra, I. (1997). " *Sludge Blanket of UASB Reactor : Mathematical Simulation* ", Wat. Res., 31(4) : 715-726.

7- Rintala, J. (1991). " *High Rate Anaerobic Treatment of Industrial Wastewaters* ", Wat. Sci. Tech., 24(1): 69-74.