Archive of SID

ارزیابی کارآیی و تعیین معیارهای عمدهٔ طراحی هاضم هوازی برای تثبیت لجن مخلوط فاضلاب شهری اصفهان

دکتر حسین موحدیان‌عطار[1]، دکتر علیرضا مصداقی‌نیا، دکتر بیژن بینا

چکیدهٔ مقاله

مقدمه. به مخلوطی از مواد جامد و مایع به دست آمده طی فرآیند تصفیهٔ فاضلاب، لجن گفته می‌شود، که به علت خطرات آن برای سلامتی انسان و محیط زیست باید قبل از دفع در محیط آن را تصفیه (تثبیت) نمود. لجن تولید شده در تصفیه خانه فاضلاب جنوب اصفهان به روش هضم بی‌هوازی تثبیت می‌شود. این روش دارای بوی بد و مشکلات بهره‌برداری فراوان می‌باشد. امروزه روش هضم هوازی لجن به دلیل سادگی بهره‌برداری و مزایای دیگر مورد توجه قرار گرفته است.

روشها. این تحقیق یک مطالعهٔ تجربی آزمایشگاهی است که به صورت طرح نمونه انجام شد. برای انجام آن یک بیورآکتور شیشه‌ای ساخته شد و با ۵ لیتر لجن مخلوط تهیه شده از تصفیه‌خانه مذکور در آزمایشگاه بهداشت محیط دانشکدهٔ بهداشت بارگیری شد. عمل هضم هوازی لجن با هوادهی محتویات بیورآکتور برای پنج دورهٔ سه هفته‌ای ادامه یافت. در طول هر دوره ۶ بار (هفته‌ای ۲ روز) از محتویات بیورآکتور نمونه‌برداری شد و برای ارزیابی و روند پیشرفت هضم هوازی و تعیین معیارهای طراحی، روند کاهش مقادیر پارامترهای جامدات کل (TS)، جامدات معلق کل (TSS)، جامدات فرارّ کل (TVS)، جامدات معلق فرارّ (VSS) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) در طول هضم هوازی مورد بررسی قرار گرفت و ارتباط هر یک از پارامترها با یکدیگر و زمان ماند هضم به وسیله آزمون همبستگی پیرسون و آزمون تفاوت ضرایب همبستگی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

نتایج. مقادیر TS، TSS، TVS، VSS و COD پس از گذشت ۱۸ روز از زمان ماند هضم به ترتیب ۴۵/۲۲، ۴۹/۳، ۵۲/۳۶، ۵۲/۲۸ و ۴۳/۰۳ درصد کاهش یافتند. ضریب همبستگی پیرسون بین این پارامترها بیش از ۰/۹۹ بوده است ($P<0/0001$).

بحث. لجن مخلوط تصفیه‌خانهٔ مذکور به روش هضم هوازی به خوبی قابل تثبیت بوده و هاضم هوازی توانسته است بعد از گذشت حداقل ۱۱ روز کاهش ۴۰ درصدی مواد فرارّ را که شاخص پایانی عملیات هضم است فراهم نماید. این میزان تثبیت با حداکثر بارگذاری برابر ۱/۴۵ کیلوگرم جامدات فرارّ کل بر متر مکعب بر روز به دست آمد.

● *واژه‌های کلیدی. پردازش لجن، تصفیه لجن، هضم هوازی لجن، لجن مخلوط شده.*

مقدمه

اهداف تصفیهٔ فاضلاب با تبدیل و تغلیظ آلاینده‌های محلول و غیرمحلول آن به فرم جامد و سپس جدا کردن این جامدات از تودهٔ مایع محقق می‌گردد. به این جامدات غلیظ شده «لجن» گفته می‌شود (۱). منابع اصلی لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تانک ته‌نشینی اولیه و ثانویه است. انواع لجن تولیدی در تصفیه‌خانه‌های متداول فاضلاب شهری لجن اولیه، لجن ثانویه و لجن مخلوط می‌باشد. لجن اولیه لجنی است که در حین مرحله تصفیه فاضلاب اولیه به وجود می‌آید. این لجن به شکل دانه‌ای و به رنگ خاکستری تیره و غلیظ تر از لجن ثانویه بوده و دارای بوی بد است. درصد جامدات آن معمولاً بین ۲ تا ۸ درصد متغیر است. لجن ثانویه که به آن لجن بیولوژیکی نیز گفته می‌شود، لجنی است که در مرحله تصفیه ثانویه (بیولوژیکی) فاضلاب به وجود می‌آید. این لجن به شکل لخته‌ای و به رنگ قهوه‌ای تیره است و درصورتیکه تازه باشد بوی بدی ندارد. درصد جامدات این نوع لجن بین ۰/۵ تا ۴ درصد متغیر است. دفع مستقیم لجن خام باعث آلودگی محیط زیست شده و از نظر مقررات زیست محیطی ممنوع است و باید قبل از دفع آن را تصفیه و تثبیت نمود (۲). یکی از مراحل اصلی تصفیهٔ لجن تثبیت آن می‌باشد. اهداف اصلی مرحلهٔ تثبیت لجن شامل حذف بوهای بد و آزاردهنده، کاهش پاتوژنها، کاهش جامدات کل و حجم لجن و کاهش پتانسیل فسادپذیری لجن می‌باشد (۳). موفقیت در رسیدن به اهداف فوق بستگی به تثبیت مواد آلی (جامدات فرارّ) دارد. بنابراین تثبیت لجن فرآیندی است که در طی آن مواد آلی لجن تجزیه شده و به شکل پایدارتر و بدون بو تبدیل شود و در نتیجه تجزیه‌پذیری لجن کاهش یابد (۱). متداولترین روش تثبیت لجن تجزیهٔ بیولوژیکی آن به دو صورت هضم بی‌هوازی و هضم هوازی است (۳). اگر چه هضم بی‌هوازی لجن دارای سابقهٔ طولانی‌تری است، لیکن به دلایل زیادی از قبیل بالا بودن هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه، حساس بودن و مختل شدن مکرر عمل هضم، مشکلات فراوان بهره برداری و غیر قابل کنترل بودن آن، در حال حاضر

۱ـ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی ـ درمانی استان اصفهان، اصفهان.

www.SID.ir

Archive of SID

روش هضم هوازی لجن، مورد توجه بیشتری قرار گرفته و به نظر می‌رسد در آینده از اعتبار بیشتری برخوردار شود (۴). در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ایران و از جمله تصفیه‌خانهٔ فاضلاب جنوب اصفهان که از بزرگترین تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کشور است، لجن اولیه و ثانویه با هم مخلوط شده و به روش بی‌هوازی هضم می‌شود. با توجه به مشکلات موجود این تصفیه‌خانه در بهره‌برداری از این روش و مزایای هضم هوازی نسبت به هضم بی‌هوازی تصمیم گرفته شد که روش هضم هوازی به عنوان یک گزینهٔ اصلاحی برای تثبیت لجن مخلوط این تصفیه‌خانه ارزیابی شود.

هضم هوازی لجن یک فرآیند تصفیهٔ بیولوژیکی هوازی است که در فاز درون‌زای (خودخوری) رشد سلول عمل می‌نماید. در این فرآیند مواد آلی قابل تجزیهٔ بیولوژیکی که در حین تصفیهٔ فاضلاب مصرف نشده‌اند، هم تودهٔ سلولی تولیدی در فرآیندهای قبلی (لجن ثانویه) و توده‌های سلولی تولید شده در خود عملیات هضم از طریق اکسیداسیون بیولوژیکی هوازی تجزیه می‌شوند. بنابراین در طول عمل هضم لجن میزان مواد آلی آن کاهش می‌یابد (۵).

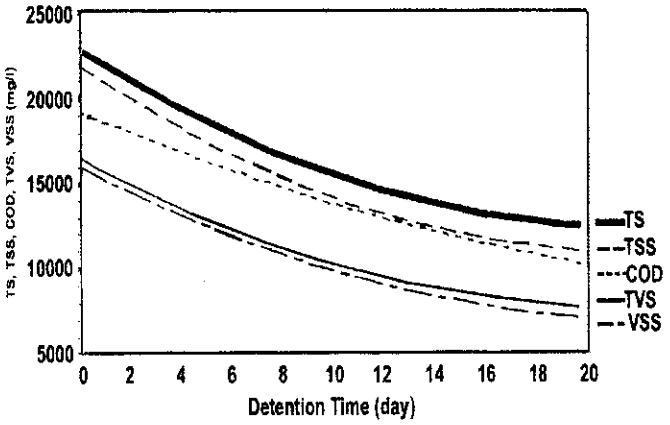
از آنجا که اندازه‌گیری مستقیم تودهٔ بیولوژیکی فعال یا جامدات قابل تجزیهٔ بیولوژیکی مشکل است، به طور معمول از اندازه‌گیری مواد آلی به شکل جامدات فرار کل (TVS) و جامدات معلق فرار (VSS) برای شرح عملکرد هاضم هوازی استفاده می‌شود. گرچه کاهش مقدار اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) معمولاً کمتر از جامدات فرار است، لیکن پیشرفت روند هضم در هاضم را مشخص می‌کند. بنابراین کاهش در مقدار پارامترهای مذکور همگی نشانگر پیشرفت هضم هوازی می‌باشد (۶-۸). پایان عملیات هضم لجن به صورت هوازی یا بی‌هوازی یعنی حداقل زمان ماند مورد نیاز با تعیین درصد کاهش جامدات فرار مشخص می‌شود. قوانین جاری زیست محیطی حداقل کاهش ۳۸ درصد (به طور معمول ۴۰ درصد) از جامدات فرار لجن به منظور نیل به اهداف کاهش جذب ناقلین به لجن هضم شده برای جلوگیری از انتشار عوامل بیماری‌زا توسط آنها به هنگام استفاده از لجن در زمین را لازم و ضروری می‌داند (۵). زمان ماند مورد نیاز برای کاهش ۴۰ تا ۵۰ درصد جامدات فرار ممکن است به پایین‌تر از ۱۰ تا ۱۲ روز نیز برسد (۶). تحقیقات متعدد حداکثر کاهش جامدات فرار کل (TVS) را بین ۴۰ تا ۷۵، حداکثر کاهش جامدات کل (TS) را بین ۳۵ تا ۵۵ درصد، حداکثر کاهش جامدات معلق کل (TSS) را بین ۴۰ تا ۴۸ درصد، حداکثر کاهش جامدات معلق فرار را بین ۳۴ تا ۵۵ درصد و حداکثر کاهش COD را بین ۳۵ تا ۶۰ درصد با توجه به شرایط محیطی متفاوت با زمانهای ماند متفاوت گزارش نموده است (۹، ۱۰). هدف از انجام این تحقیق ارزیابی کارآیی و تعیین معیارهای عمده طراحی هاضم هوازی برای تثبیت لجن مخلوط تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب اصفهان می‌باشد. امید است با استفاده از نتایج این تحقیق، یک هاضم هوازی برای تثبیت لجن مخلوط تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب اصفهان طراحی و ساخته شود و بتواند مشکلات موجود تثبیت لجن در این تصفیه‌خانه و بوی بد منتشر شده در آن را برطرف نماید. ضمناً نتایج این تحقیق می‌تواند مورد استفاده مهندسین مشاور و طراح و شرکتهای آب و فاضلاب کشور قرار گیرد.

روشها

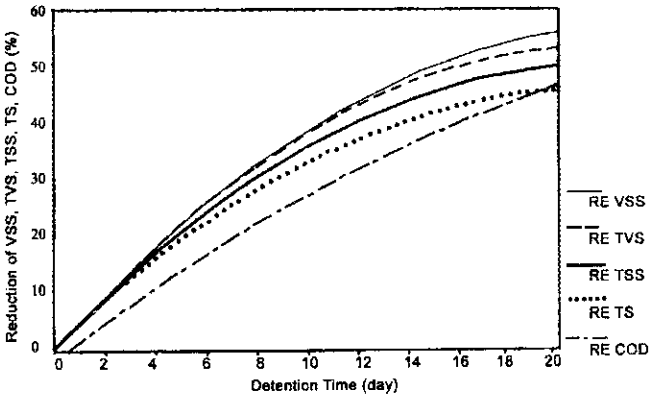
این مطالعه یک مطالعهٔ تجربی آزمایشگاهی است که به صورت طرح نمونه (Pilot-Plant) انجام شده است. بدین منظور یک بیوراکتور شیشه‌ای مکعبی شکل بدون درز به طول ۲۳ سانتی‌متر و عرض ۱۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۱ سانتی‌متر با حجم ۷/۵ لیتر ساخته شد. در این بیوراکتور سه عدد سنگ هوای مخصوص آکواریوم به طول ۱۸ سانتی‌متر و عرض ۳/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳ سانتی‌متر نصب گردید به طوری که هرکدام از آنها به یک پمپ هوای آکواریوم با مارک رِنا (ReNa101) ساخت فرانسه وصل بود. در طول هضم هوازی عمل هوادهی به اندازهٔ کافی تأمین گردید و در همهٔ شرایط اکسیژن محلول محتویات بیوراکتور از ۱/۴ میلی‌گرم کمتر نشد. نمونهٔ لجن ثانویه از محل پمپاژ لجن ثانویهٔ در گردش فاز دوم تصفیه‌خانهٔ فاضلاب جنوب اصفهان تهیه شد. با توجه به اینکه در این محل دائماً لجن ثانویه در گردش بود و محتویات آن کاملاً مخلوط می‌شد، نمونه‌برداری از این محل یک نمونهٔ واقعی و مطلوب بود. نمونهٔ لجن اولیه از ایستگاه ذخیرهٔ لجن در کنار تانک ته‌نشینی اولیهٔ فاز دوم این تصفیه‌خانه تهیه شد. برای اینکه این نمونه نیز یک نمونهٔ واقعی و مطلوب باشد، محتویات این ایستگاه به وسیلهٔ پمپاژ برگشتی به مدت نیم ساعت مخلوط شده و سپس نمونه‌گیری انجام می‌شد (۱۱). این نمونه‌ها بلافاصله به محل تحقیق یعنی آزمایشگاه بهداشت محیط دانشکدهٔ بهداشت اصفهان آورده شده و به نسبت لجن تولیدی در تصفیه خانهٔ مذکور (۳ لیتر لجن ثانویه، ۲ لیتر لجن اولیه) با هم مخلوط شده و ۵ لیتر لجن مخلوط شده به بیوراکتور اضافه می‌شد پس از بارگیری بیوراکتور، با روشن کردن پمپهای هوا، عمل هوادهی و اختلاط شروع شد و بیوراکتور شروع به کار نمود. ضمناً برای جلوگیری از ایجاد کف که براثر هوادهی لجن در چند روز اول راه‌اندازی تولید می‌شد. از یک همزن مکانیکی در سطح مایع لجن استفاده شد. بعد از اینکه محتویات بیوراکتور کاملاً مخلوط شد (ده دقیقه بعد از بارگیری) بلافاصله برای تعیین کیفیت لجن خام آزمایشهای جامدات کل (TS)، جامدات معلق کل (TSS)، جامدات فرار کل (TVS)، جامدات معلق فرار (VSS)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و درجهٔ حرارت براساس روشهای پیشنهادی کتاب روشهای استاندارد برای آزمایشهای آب و فاضلاب (۱۱) که توسط مؤسسهٔ بهداشت عمومی آمریکا منتشر شده انجام شد. برای ارزیابی روند هضم

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. تغییرات مقادیر TS, TSS, TVS, VSS, COD در طول هضم هوازی لجن مخلوط.



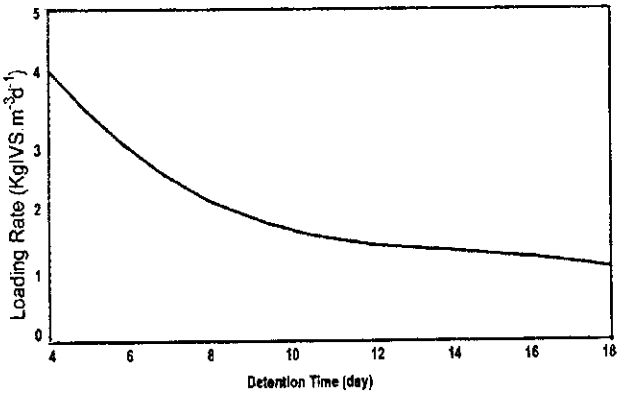
شکل ۲. تغییرات درصد کاهش TS, TSS, TVS, VSS, COD در طول هضم هوازیهای مخلوط.

هوازی و همچنین تعیین معیارهای طراحی، عمل هوادهی و اختلاط به صورت ممتد برای یک دورهٔ سه هفته‌ای ادامه داده شد و در هر هفته ۲ روز (روزهای شنبه و سه‌شنبه) از محتویات بیورآکتور نمونه‌برداری و آزمایشهای بالا تکرار شد.

این تحقیق از پاییز سال ۱۳۷۷ تا پایان بهار سال ۱۳۷۸، بنابر پیشنهاد مطالعات قبلی پنج دورهٔ سه‌هفته‌ای ادامه یافت (۱۲). در پایان نتایج به دست آمده برای هر آزمایش توسط نرم‌افزار SPSS از طریق آزمون همبستگی پیرسون و آزمون تفاوت ضرایب همبستگی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج

میانگین درجهٔ حرارت محتویات بیورآکتور در فصل پاییز و زمستان سال ۱۳۷۷ و فصل بهار سال ۱۳۷۸، به ترتیب برابر ۱۸/۲۸، ۱۸/۵۶ و ۲۰/۰۲ درجهٔ سانتیگراد بوده است. ملاحظه می‌شود که هاضم هوازی در محدودهٔ پایین حرارتی مزوفیلیک عمل نموده است (محدودهٔ مزوفیلیک هضم هوازی بین ۱۰ تا ۴۲ درجهٔ سانتیگراد متغیر است (۵)). برای اینکه بتوانیم روند پیشرفت هضم هوازی و تغییرات میزان بارآلی را ارزیابی نماییم، نتایج ۱۵۰ مورد آزمایش مربوط به اندازه‌گیری مقادیر پارامترهای TS ، TSS ، TVS ، VSS و COD لجن برحسب میلی‌گرم در لیتر در پنج دوره هضم هوازی لجن در نمودار شکل ۱ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که همهٔ پارامترهای فوق در طول هضم هوازی کاهش یافته و روند کاهش آنها در ابتدای عملیات بیشتر و با گذشت زمانِ ماند هضم، کمتر شده است. آزمون همبستگی پیرسون بین مقادیر هریک از پارامترهای فوق با زمان ماند نشان می‌دهد که ارتباط آنها با زمان ماند قوی و معکوس بوده است.



شکل ۳. تغییرات میزان بارگذاری لجن مخلوط در طول هضم هوازی آن.

در همه موارد ضریب همبستگی منفی و قدر مطلق آن بیشتر یا معادل ۰/۹۰ بود (P<۰/۰۰۱). همچنین نتایج آزمون تفاوت این ضرایب همبستگی نیز اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (P>۰/۰۵). در واقع بین همبستگی واقعی کاهش هریک از پارامترهای فوق با افزایش زمان ماند اختلاف قابل ملاحظه‌ای وجود نداشته است. ضمناً ارتباط بین هر یک از پارامترهای فوق با دیگری قوی و مستقیم بوده است، به طوری که ضریب همبستگی پیرسون بین TS، TSS، TVS و VSS با یکدیگر بیشتر از ۰/۹۹۸ بوده است (P<۰/۰۰۰۱) و ضریب همبستگی بین این پارامترها با COD بیشتر از ۰/۹۵ بوده است (P<۰/۰۰۰۱) یعنی با کاهش مقدار هر یک شدت پارامترهای دیگر نیز کاهش می‌یابد. تغییرات درصد کاهشِ هریک از پارامترهای فوق در نمودار شکل ۲ آمده است. این نمودار نشان می‌دهد که درصد کاهش این پارامتر با افزایش زمان ماند هضم، افزوده شده است و تغییرات این افزایش در ابتدا بیشتر و با گذشت زمان ماند این تغییرات کمتر شده است. نتایج مربوط به تغییرات میزان بارگذاری برحسب کیلوگرم جامدات فرار کل بر هر متر مکعب

www.SID.ir

Archive of SID

از حجم هاضم بر روز ($Kg_{TVS}m^{-3}d^{-1}$) در نمودار شکل ۳ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که با افزایش زمان ماند هضم هوازی لجن میزان بارگذاری کاهش یافته است ضریب همبستگی پیرسون (r) بین مقدار بارگذاری با زمان ماند برابر ۰/۷۸- بوده است ($P<0/0001$).

بحث

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که در راستای اهداف تثبیت لجن، هضم هوازی باعث اکسیداسیون مواد آلی و توده سلولی و کاهش مقادیر آن در لجن می‌شود. کاهش در مقدار مواد آلی و به مقدارِ ناچیزی در مواد غیر آلی، موجب کاهش در مقادیر TS و TSS لجن می‌شود (۵). ضمناً ارتباط بین مقادیر TS و TSS مستقیم و قوی بوده است ($r=0/9992$ و $P<0/0001$) در نتیجه با کاهش هر یک از آنها، پارامتر دیگر نیز کاهش می‌یابد. میانگین درصد کاهش TSS, TS بعد از گذشت هیجده روز از زمان ماند هضم به ترتیب برابر ۴۵/۲۲ و ۴۹/۳۰ بوده است و با تحقیقات انجام شده توسط دیگران همخوانی داشته است. همانطور که گفته شد کاهش مقدار مواد آلی (به شکل COD, VSS, TVS) پیشرفت روند هضم را مشخص می‌کند. میانگین درصد کاهش COD, VSS, TVS بعد از گذشت هیجده روز از زمان ماند به ترتیب برابر ۵۲/۳۸ و ۵۲/۲۸ و ۴۳/۰۳ درصد بوده است و با نتایج تحقیقات دیگران مشابه است.

یکی از رایج‌ترین روشهای به کار برده شده برای تعیین اندازهٔ هاضمها تعیین حجم مورد نیاز براساس فاکتور بارگذاری است. این بارگذاری در واقع برآوردی از مقدار مواد آلی به‌کار برده شده در هاضم را نشان می‌دهد و اصولاً براساس کیلوگرم جامدات فرارّ کلِ ورودی بر واحد حجم هاضم (متر مکعب) بر واحد زمان (روز) بیان می‌شود. مقدار بارگذاری و زمان ماند با هم ارتباط داشته و باید مقدار آنها را در هر تصفیه‌خانه بسته به نوع لجن و شرایط محیطی براساس مطالعات تجربی بر روی طرح نمونه به دست آورد (۴، ۱۳). همانگونه که در قسمت روشها گفته شده هر بار بیورآکتور با ۵ لیتر لجن مخلوط بارگیری و برای مدتی هوادهی شده در واقع مقدار جامدات فرارّ در واحد حجم هاضم در شروع کار مشخص بود و آنچه که تغییر یافته افزایش زمان ماند است. لذا با افزایش زمان ماند میزان بارگذاری کاهش می‌یابد.

برای تعیین معیارهای عمدهٔ طراحی، یعنی تعیین زمان ماند و تعیین مقدار بارگذاری، باید پایان عملیات هضم مشخص شود. به طور معمول هر چه زمان ماند هضم افزایش یابد، کارآیی یا تأثیر هاضم هوازی، در به موفقیت رساندن فرآیند تثبیت لجن افزایش می‌یابد (۱۴). از آنجا که عمل تثبیت لجن در نتیجهٔ کاهش جامدات فرارّ کل (مواد آلی) به عنوان یک شاخص خوب به شمار می‌رود، بنابراین زمان ماند براساس منحنی تغییرات درصد کاهش جامدات فرارّ کل در مقابل زمان ماند هضم (شکل ۲) تعیین می‌گردد (۷) همانطور که در قسمت مقدمه گفته شد، کاهش حداقل ۴۰ درصد جامدات فرارّ از نظر مقررات زیست محیطی لازم و ضروری است، ملاحظه می‌شود که کاهش حداقل ۴۰ درصد مواد فرارّ در حداقل زمان ماند ۱۱ روز به دست آمده و چنانچه از این حداقل زمان ماند یعنی ۱۱ روز در نمودار مربوط به میزان تغییرات بارگذاری (شکل ۳) خطی عمودی رسم کنیم، میزان حداکثر بارگذاری هاضم هوازی، برابر $2/42 Kgm^3d^{-1}$ به دست می‌آید.

قدردانی و تشکر

از جناب آقای دکتر بشردوست و جناب آقای دکتر سلیمانی به خاطر راهنماییهای مفیدی که در آنالیز آماری این تحقیق داشتند و همچنین از مسؤولین محترم تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب اصفهان به ویژه جناب آقای مهندس سید محمد موسوی که در امر نمونه‌برداری نهایت همکاری را داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

1- Peavy HS, Rowe DR, Tchobanoglous G. Environmental Engineering. 3rd Ed. Philadelphia McGraw-Hill Co. 1986: 278.
2- Veenstra S. Sludge Treatment. Netherlands, IHS 1992: 18.
3- Benefield LD, Randall CW. Biological Process Design for Wastewater Treatment. London, Prentice-Hall 1980: 458.
4- Metcalf F. Eddy I. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. Philadelphia, McGraw-Hill 1991: 835-840.
5- Water Environment Federation (WEF), and American Society of Civil Engineers (ASCE). Design of municipal Wastewater Treatment Plants. 2nd Ed. New York, Book press Inc. 1992: 1322-30.
6- Water Pollution Control Federation. Operation of municipal wastewater treatment plants. Manual of Practice 1990; 3(11): 902, 1027-29.
7- Bhargava DS, Datar MT. Progress and Kinetics of Aerobic Digestion of Secondary Sludges. Wat Res 1988; 22(1): 37-47.
8- Higgins AJ, Kaplovsky AJ, Hunter JV. Organic Composition of Aerobic, Anaerobic, and Compost Stabilized Sludges. Journal WPCF 1982; 54(5): 466-73.
9- Davis ML, Cornwell DA. Introduction to Environmental Engineering. 2nd Ed. Philadelphia, Mc Graw-Hill Co. 1991.

www.SID.ir

Archive of SID

10- Tran FT, Tyagi RD. Mesophilic and Thermophilic Digestion of Municipal Sludge in Deep-Shaft U- Shaped Bioreactor. Wat. Sci Tech 1990; 22(12): 205-215.

11- American Public Health Association (APHA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Ed. Philadelphia, Mc Graw-Hill Co. 1992.

12- U.S. Environmental Protection Agency. Environmental Regulations and Technology: Control Of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. EPA 1992; 625/R-92/013: 27.

13- Sacramento M. Advanced Waste Treatment. 2nd Ed. California State University Publisher 1993.

14- Vesilind PA, Hartman GC, Skene E. Sludge Management and Disposal for the Practicing Engineer. London, Lewis Publishers 1991.

www.SID.ir