# Investigations into the Removal of Pathogens from Municipal Sewage Sludge

*Movahedian Attar, H.* ( M.Sc ), Takdastan, A.** ( M.Sc )*

** School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences*

*** School of Public Health, Chamran University of Medical Sciences*

**Abstract**

The ultimate disposal of solids and semisolid residuals ( sludge ) and concentrated contaminates removed by treatment has been and continues to be one of the most difficult and expensive problems in the field of wastewater engineering. Wastewater sludges contain different type of pathogens such as bacteria, viruses, protozoa, and eggs of parasitic worms which can be spread diseases if there is human exposure to the sludge.

Processes of sludge treatment such as aerobic digestion causes reduction of large mumber of these pathogens in sludge so that it can be used in agricultural and non - agnicultural or land disposal. Aerobic sludge digestion is more used for stabilizing the activated sludge and a mixture of primary and secondary sludges.

According to U.S Environmental Protection Agency, aerobic digestion in respect of pathogen reduction is a part of one of the PSRP processes ( Processes of Significantly Reduce Pathogens ).

In this research the trend of removing the pathogens in aerobic digester was studied and the results was and compared with the EPA recommended standard for land application of sludge.

An aerobic batch reactor was installed in the Environmental Health Lab, School of Public Health. The reactor was feed with a mixture of primary and secondary sludge of Jonob Wastewater Treatment Plant. The sludge was aerated and the samples were taken after 5,12,18, 26 and 32 days. The samples analyzed for volatile solids, total coliform, fecal coliform, salmonella and eggs of parasitic.

After the determined time mentioned above, their percent reduction were 61.24, 99.64, 99.25, 86.15 and 16.66 respeetiveley and SOUR rate at 21 days of detention was into 0.78 milligram oxygen per hour for each gram of total suspended solids of sludge. As the results, the sludge from aerobic digester can not meet the pothogen reduction requirments class A, but can meet the reduction requicments class B and provide the vector attraction reduction requirments.

# بررسی روند حذف عوامل بیماری‌زای لجن فاضلاب شهری در هاضم هوازی در مقیاس پایلوت

حسین موحدیان عطار* افشین تکدستان**

## چکیده

تصفیه فاضلاب‌ها همواره با تولید دو بخش مجزای پساب و لجن همراه می‌باشد. از این میان پساب‌ها غالباً بعد از یک تصفیه ثانویه کیفیتی مطلوب جهت دفع به محیط دارند در حالی که لجن‌ها به دلیل آلودگی بسیار زیاد نیاز به تصفیه و تثبیت دارد. لجن خام دارای انواع وسیعی از میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا از قبیل باکتری‌ها، ویروس‌ها، پروتوزئرها و انگل‌ها می‌باشد که غلظت این عوامل بیماری‌زا در لجن خیلی بیشتر از فاضلاب است، بنابراین جهت کاهش این عوامل بیماری‌زا در لجن بایستی تصفیه‌ای روی آن صورت گیرد. فرایندهای تصفیه لجن، از قبیل هضم هوازی موجب کاهش مقادیر بسیار زیادی از این عوامل بیماری‌زا در لجن می‌شود تا بتوان لجن را جهت استفاده در زمین‌های کشاورزی و غیر کشاورزی یا دفع سطحی به کار برد. هضم هوازی لجن بیشتر جهت تثبیت لجن فعال یا مخلوطی از لجن اولیه و ثانویه به کار می‌رود. بر طبق نظر سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، هضم هوازی از نظر کاهش پاتوژن جزء یکی از فرایندهای PSRP ( فرآیندهایی که به طور قابل ملاحظه‌ای پاتوژن‌ها را کاهش می‌دهند ) می‌باشد.

در این تحقیق به منظور بررسی روند حذف عوامل بیماری‌زا در هاضم هوازی و مقایسه آن با استانداردهای پیشنهادی EPA جهت استفاده و دفع لجن، پایلوتی از هضم هوازی ناپیوسته در آزمایشگاه بهداشت محیط دانشکده بهداشت اصفهان راه‌اندازی شد و در آن مخلوطی از لجن اولیه و ثانویه تصفیه‌خانه جنوب اصفهان به مدت ۳۲ روز هوادهی شد و بعد از گذشت زمان ماند ۵، ۱۲، ۱۸، ۲۶ و ۳۲ روز از لجن درون هاضم هوازی مستقیماً نمونه‌برداری شد و جامدات فرار، کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی، سالمونلا و تخم انگل آن اندازه گیری شد. میزان کاهش آنها بعد از زمان‌های ماند فوق به ترتیب به ۶۱/۲۴، ۹۹/۶۴، ۹۹/۲۵، ۸۶/۱۵ و ۱۶/۶۶ درصد رسید و میزان SOUR نیز در ۲۱ روز زمان ماند، ۰/۷۸ میلی‌گرم اکسیژن در ساعت در هر گرم از جامدات کل لجن شد. در نتیجه لجن حاصل از هضم هوازی قادر به برآورد مقررات کاهش پاتوژن در کلاس A نمی‌باشد، اما مقررات کاهش پاتوژن در کلاس B را برآورده کرده و قادر است مقررات کاهش جذب ناقل را نیز برآورده کند.

---

* - عضو هیأت علمی دانشکده بهداشت اصفهان

** - عضو هیأت علمی دانشکده بهداشت اهواز

## مقدمه

جوامع شهرنشینی به علت بافت زیست محیطی خاص خود مواد زائد به صورت مایع و جامد تولید می‌کند. دفع این مواد به نحوی که از طرفی آسیبی به بهداشت عمومی وارد نیاورد و از طرف دیگر ایجاد معضلات زیست محیطی نکند نیازمند به برنامه‌ریزی و تلاش فراوان و منسجمی است. امروزه تصفیه فاضلاب از اهمیت زیادی برخوردار شده است. به خصوص از نظر حفظ و تأمین شرایط بهداشتی برای زندگی مردم و دیگر از نقطه نظر حفظ محیط زیست که آن هم در نهایت با سلامتی انسان‌ها رابطه مستقیم دارد. در تمام مراحل تصفیه فاضلاب، مواد موجود در آن به صورت توده غلیظی از آن جدا می‌شود و تحت عنوان لجن بایستی مورد تصفیه و دفع قرار گیرد. در یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری تأسیسات تصفیه و تثبیت لجن به مراتب حساس‌تر، تخصصی‌تر و پرهزینه‌تر از واحدهای دیگر می‌باشند. به طوری که تصفیه و دفن لجن ۴۰ تا ۶۰ درصد هزینه ساخت و ۵۰درصد هزینه راهبری را به خود اختصاص می‌دهد [۱، ۲].

لجن فاضلاب را می‌توان در زمین‌های کشاورزی، مراتع، جنگل‌ها، زمین‌های بازی، نواحی تفریحی ( پارک‌ها، میدان گلف ) و باغچه‌های جنگلی و .... به‌کار برد. یک بررسی که در سال ۱۹۸۸ انجام گرفت نشان داد که بیش از ۳۳٪ لجن فاضلاب تولیدی در آمریکا جهت حاصلخیزی زمین به‌کار می‌رود. اگرچه لجن فاضلاب به دلیل دارا بودن مواد مغذی برای گیاه مفید بوده و می‌تواند باعث اصلاح و بهبود خاک گردد، لیکن به دلیل این که حاوی انواع باکتری‌ها، ویروس‌ها، پروتوزئرها و انگل‌ها می‌باشد میتواند موجب بیماری در انسان و دام شود. کاربرد لجن در زمین و یا دفع سطحی آن پتانسیل تماس مستقیم و یا غیر مستقیم انسان به این میکروارگانیسم‌ها را افزایش می‌دهد [۳ و ۵].

سازمان حفاظت محیط زیست ایالت متحده ( U.S.EPA ) روش‌های تثبیت لجن را با توجه به میزان کاهش پاتوژنها به دو دسته کل PSRP[1] و PFRP[2] تقسیم نموده و لجن‌های به دست آمده از هر روش را برای کاربرد خاصی در زمین مجاز می‌دانند. هضم هوازی جزء فرایند PSRP بوده که باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در پاتوژن‌های لجن می‌شود. هضم هوازی بیشتر جهت تثبیت لجن فعال و یا مخلوطی از لجن اولیه و ثانویه به‌کار می‌رود [۲، ۳، ۴ و ۵].

اکثر فرایندهای تصفیه بیولوژیکی میکروارگانیسم‌های موجود در فاضلاب را حذف می‌کنند اما این میکروارگانیسم‌ها را از بین نمی‌برند و به صورت غلیظ‌تر وارد جریان لجن می‌شوند. بنابراین غلظت همه میکروارگانیسم‌ها در لجن خیلی بیشتر از فاضلاب است، به طوری که میزان کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی، استرپتوکوکی مدفوعی در لجن مخلوط ( لجن اولیه و ثانویه ) به ترتیب از $3/8\times10^{7}$ تا $1/1\times10^{9}$، $1/9\times10^{5}$ تا $1/9\times10^{6}$، $1/6\times10^{6}$ تا $3/7\times10^{6}$ MPN در هر گرم از وزن خشک لجن می‌باشد. میزان سالمونلا از ۷ تا ۲۹۰ و پسودوموناس آئروژنز $3/3\times10^{3}$ MPN در هر گرم از وزن خشک لجن می‌باشد. میزان تخم آسکاریس ۲۹۰ عدد در هر گرم از وزن خشک و گونه‌های توکسوکارا ۱۳۰۰ عدد در هر کیلوگرم از وزن خشک و تریکوریس تریکورا در مقادیر ۱۸۰۰ در هر کیلوگرم از وزن خشک لجن می‌باشد [۳].

در حالی که هدف اولیه تصفیه لجن کاهش آب و مواد آلی است، کاهش ویژه‌ای در عوامل بیماری‌زا نیز در حین انجام این فرایند روی می‌دهد. هضم هوازی لجن در واقع یک نوع فرایند تثبیت به روش اکسیداسیون بیوشیمیایی لجن می‌باشد که در راکتور روباز یا سرپوشیده به صورت مجزا از فرایند تصفیه فاضلاب صورت می‌گیرد که بیشتر در تصفیه‌خانه کوچک فاضلاب کاربرد دارد. مطالعه در مورد فرایند هضم هوازی لجن از اوایل سال ۱۹۵۰ شروع شد و پس از مشخص شدن قابلیت‌های این روش در تثبیت لجن از سال ۱۹۶۰ به بعد مهندسین مشاور در امور فاضلاب استفاده از آن را مورد توجه قرار دادند [۱، ۲].

کاهش پاتوژن‌ها در هاضم هوازی، به زمان ماند سلولی ( SRT ) و دما بستگی دارد که با افزایش این دو پارامتر پاتوژن بیشتری کاهش می‌یابد. بر اساس تحقیقات پدرسن در سال ۱۹۸۱ هضم هوازی لجن منجر به کاهش باکتری‌های

1- Processes to Significantiy Reduce Pathogens
2- Processes to Further Reduce Pathogens



اشریشیا کلی و گونه‌های سالمونلا تا ۱۰ برابر یا بیشتر می‌شود. انتروبیوس‌ها ممکن است که بعد از ۱۹ روز زمان ماند کاهش یابند اما تخم انگل‌ها نسبت به سایر ارگانیسم‌ها مقاومت بیشتری نشان می‌دهند [۳].

مارتین نیز در سال ۱۹۹۰ به روش ریاضی رابطه بین درجه حرارت و سرعت کاهش باکتری‌ها و ویروس‌های روده‌ای را در طول فرایند هضم هوازی محاسبه کرد. او دریافت که حداقل ۲log کاهش در ارگانیسم‌های شاخص و ویروسها در ۶۰ روز در دمای $15^{\circ}C$، ۴۰ روز در دمای $20^{\circ}C$، ۲۹ روز در دمای $30^{\circ}C$ و ۲۵ روز در دمای $40^{\circ}C$ رخ می‌دهد [۷]. EPA در سال ۱۹۹۲ پیشنهاد کرد که هضم هوازی طبق مقررات بخش ۵۰۳ قادر است که باکتری‌ها و ویروس‌های بیماری‌زا را تا ۹۰٪ یا بالاتر کاهش دهد. تخم‌کرم‌ها با درجه متنوع کاهش می‌یابند که بستگی به مقاومت گونه‌های مخصوص دارد. هضم هوازی به طور مشخص مقدار جامدات فرار ( منبع غذایی میکروب‌ها ) لجن فاضلاب تا ۴۰ الی ۵۰درصد کاهش می‌دهد که بستگی به نگهداری شرایط در سیستم دارد [۳].

با وجود کاهش قابل ملاحظه‌ای که در میزان عوامل بیماری‌زا و ارگانیسم‌های شاخص در طول فرایند مختلف تصفیه رخ می‌دهد، عوامل ویژه‌ای ممکن است در لجن بعذ از تصفیه کامل باعث رشد مجدد ارگانیسم‌ها شوند. هم‌چنین عوامل بالقوه بیماری‌زا ممکن است در لجن تصفیه شده ایجاد کلنی کنند، بنابراین از عوامل تشکیل دهنده خطرات بهداشتی محسوب می‌شوند. خوشبختانه تنها تعداد کمی از عوامل میکروبی وجود دارند که هم خطر بهداشتی دارند و هم قادرند در لجن تصفیه شده رشد مجدد کنند. آنها شامل برخی از گونه‌های سالمونلا، کلیفرم‌های کپسول‌دار مقاوم و بیماری‌زا و قارچ‌های همچون آسپژیلوس فومینگات و کپک‌ها می‌باشند. ویروسهای بیماری‌زا و انگل‌های اوکاریوتیک قادر به ایجاد کلنی و رشد مجدد در لجن تصفیه شده نیستند چون محتاج به میزبان مشخصی می‌باشند [۳، ۴، ۵ و ۶].

U.S.EPA در سال ۱۹۹۳ جهت استفاده و دفع لجن در زمین ضوابطی را تحت مقررات CFR ۴۰[1] بخش ۵۰۳ وضع کرد که این مقررات شامل دو بخش مقررات وضع شده جهت کاهش پاتوژن‌ها در لجن فاضلاب و مقررات وضع شده جهت کاهش جذب ناقل می‌باشد که مقررات وضع شده جهت کاهش پاتوژن در لجن نیز در دو کلاس A و B طبقه‌بندی می‌شود که محدودیت محل در مقررات پاتوژن در کلاس A وجود ندارد. در کلاس A میزان کلیفرم مدفوعی بایستی ۱۰۰۰ MPN در هر ۴ گرم در کل جامدات لجن، سالمونلا ۳ MPN در هر گرم از کل جامدات لجن و تخم انگل بارور ۱ عدد در هر ۴ گرم از کل جامدات لجن و ویروس‌های روده‌ای ۱ PFU در هر ۴ گرم از کل جامدات لجن باشد. در صورتی که در مقررات کاهش پاتوژن در کلاس B محدودیت محل وجود دارد و میزان کلیفرم مدفوعی بایستی در حدود $2\times10^{6}$ MPN در هر گرم از کل جامدات لجن باشد. در مقررات کاهش جذب ناقل جامدات فرار بایستی ۳۸٪ کاهش یابد و میزان سرعت جذب اکسیژن ویژه ( SOUR ) کمتر از ۱/۵ میلی‌گرم اکسیژن در ساعت در هر گرم از کل جامدات لجن باشد [۳، ۴ و ۵].

در ایران تاکنون مطالعاتی بر روی حذف عوامل بیماری‌زای درون لجن در هنگام هضم هوازی آن صورت نگرفته است. همچنین هیچ‌گونه استانداردی جهت دفع و یا استفاده از لجن فاضلاب در ایران وجود ندارد.

در این تحقیق قصد داریم روند کاهش جامدات فرار و عوامل بیماری‌زا ( کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی، سالمونلا و تخم انگل‌ها ) را در زمان‌های ماند مختلف بررسی کرده و در نهایت با مقررات وضع شده توسط EPA جهت استفاده و دفع لجن مقایسه کنیم.

در هر حال امید است که تحقیق حاضر گامی جهت ارتقا و بهبود امور زیست محیطی و بهداشتی بوده و مورد توجه تمامی صاحب‌نظران و دست‌اندرکاران و علاقمندان به محیط زیست قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق که در آزمایشگاه بهداشت محیط دانشکده بهداشت اصفهان انجام گرفته است، فرایند هضم هوازی در مقیاس پایلوت مورد ارزیابی قرار گرفت که هدف اصلی آن

1- Center for Environmental Research

بررسی کارایی این فرایند در حذف عوامل بیماری‌زای موجود در لجن بود. نوع پایلوت در این تحقیق تانک شیشه‌ای یکپارچه به ابعاد ( طول ۲۳ سانتی‌متر، عرض ۱۶ سانتی‌متر و عمق ۲۱ سانتی‌متر ) و به حجم حدود ۹/۱۵ لیتر می‌باشد. مقدار ۵ لیتر مخلوط لجن اولیه و ثانویه به نسبت ۲ لیتر لجن اولیه و ۳ لیتر لجن ثانویه در تانک ریخته شد و به وسیله چهار عدد پمپ آکواریوم و چهار عدد سنگ هوا به طول ۱۸ سانتی‌متر به مدت ۳۲ روز هوادهی شد. هر هفته یک نمونه از آن برداشته و آزمون‌های : جامدات کل، جامدات فرار، کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی، سالمونلا [۸] ( طبق روش‌های استاندارد متد ) تخم‌انگل‌ها ( طبق روشی که سازمان حفاظت محیط زیست امریکا در کتاب کنترل پاتوژن‌ها در لجن فاضلاب در سال ۱۹۹۲ پیشنهاد کرده ) [۳]، درجه حرارت و pH، انجام شد و همچنین جهت برآورد مقررات کاهش جذب ناقل آزمون سرعت جذب اکسیژن ویژه ( SOUR نیز انجام شد [۸]. در تمام مراحل آزمون میکروبیولوژیکی، وسایل و لوازم آزمایش کاملاً استریل بودند [۸،۳].

## بحث و نتایج

همان طور که قبلاً اشاره شد مخلوطی از لجن اولیه و ثانویه ( به نسبت ۲ لیتر لجن اولیه و ۳ لیتر لجن ثانویه ) با درصد جامدات ۱/۴۴۷ و جامدات فرار ۷۴/۱۶ درصد را وارد هاضم کرده و در زمان‌های ماند مختلف صفر، ۵، ۱۲، ۱۸، ۲۶ و ۳۲ روز میزان جامدات کل، جامدات فرار، کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی، سالمونلا و تخم انگل، درجه حرارت و pH اندازه گیری شد.

جدول ۱ نتایج به دست آمده از این تحقیق را نشان می‌دهد. همان طور که در جدول مشاهده می‌شود راندمان حذف کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی، سالمونلا، و جامدات فرار در پایان دوره هضم ( ۳۲ روز ) به ترتیب به ۹۹/۶۴، ۹۹/۲۵، ۸۶/۱۵ و ۶۱/۲۴ درصد رسید.

نمودارهای ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب روند کاهش کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی، سالمونلا، تخم انگل و جامدات کل و جامدات فرار را نشان می‌دهد. همان طور که در نمودارها مشاهده می‌شود با افزایش زمان ماند عوامل ذکر شده کاهش بیشتری یافته و راندمان حذف بالاتر می‌رود.

### ارتباط جامدات فرار با میزان کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی

نمودار ۱ روند تغییرات جامدات فرار را همراه با کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی در زمان‌های ماند مختلف نشان می‌دهد. همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود با افزایش زمان ماند میزان جامدات فرار، کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی بیشتری از بین رفته، به طوری که در پایان دوره هضم ( ۳۲ روز ) درصد کاهش جامدات فرار به ۶۱/۲۴، کلیفرم کل به ۹۹/۶۴ و کلیفرم مدفوعی به ۹۹/۲۵ درصد رسید و در نتیجه بین کاهش جامدات فرار با کاهش میزان کلیفرم کل ( P=۰/۰۰۱, r=۰/۹۸ ) و کاهش کلیفرم مدفوعی ( P=۰/۰۰۰۱, r=۰/۹۹ ) ارتباط مستقیم و قوی دیده می‌شود به طوری که با کاهش جامدات فرار در طی زمان‌های مختلف کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی بیشتری حذف می‌شود. جامدات فرار به عنوان منبع غذایی این باکتری‌ها محسوب می‌شوند.

### ارتباط جامدات فرار با گونه‌های سالمونلا

نمودار ۲ روند تغییرات درصد کاهش جامدات فرار همراه با درصد کاهش سالمونلا را در زمان‌های ماند مختلف نشان می‌دهد. همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود با افزایش زمان ماند درصد کاهش جامدات فرار افزایش یافته و متعاقب آن درصد کاهش باکتری سالمونلا نیز بیشتر شده است. به طوری که در پایان دوره هضم ( ۳۲ روز ) درصد کاهش جامدات فرار به ۶۱/۲۴ و سالمونلا به ۸۶/۱۵ درصد می‌رسد. در نتیجه بین جامدات فرار میزان سالمونلا ارتباط مستقیم و قوی ( P=۰/۰۰۱, r=۰/۹۷ ) دیده می‌شود. به طوری که با کاهش جامدات فرار در طی زمان‌های مختلف سالمونلا بیشتر کاهش می‌یابد ( P=۰/۰۰۱, r=۰/۹۷ ) جامدات فرار به عنوان منبع غذایی این باکتری محسوب می‌شوند.

### ارتباط جامدات فرار و تخم انگل

نمودار ۳ روند تغییرات جامدات فرار همراه با تخم انگل

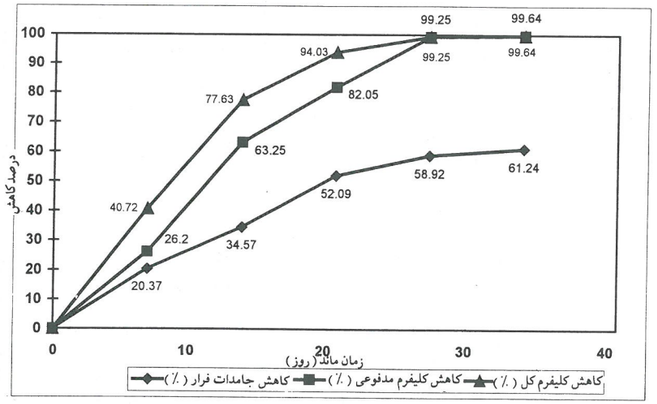


جدول ۱ - پارامترهای اندازه گیری شده در طی هاضم هوازی در لجن فاضلاب

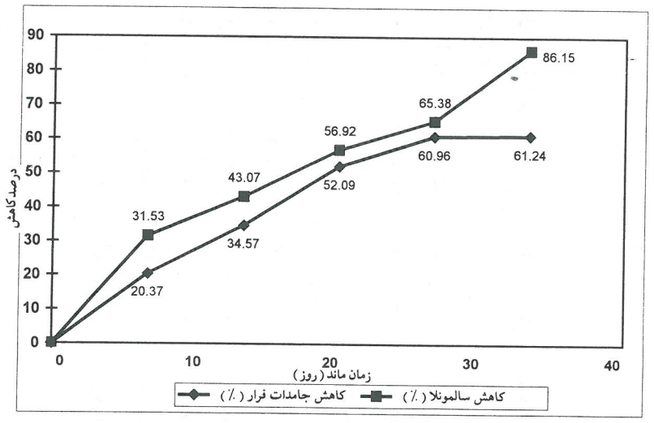
| زمان ماند (روز) | درجه حرارت °C | pH | کاهش جامدات فرار (درصد) | کلیفرم کل (MPN/g) | کاهش کلیفرم کل (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۰ | – | – | ۰ | $1/65\times10^{8}$ | ۰ |
| ۵ روز | ۲۳ | ۶/۲۸ | ۲۰/۳۷ | $9/78\times10^{7}$ | ۴۰/۷۲ |
| ۱۲ روز | ۲۳ | ۵/۶۸ | ۳۴/۵۷ | $3/69\times10^{7}$ | ۷۷/۶۳ |
| ۱۸ روز | ۲۴ | ۶/۳۹ | ۵۲/۰۹ | $9/84\times10^{6}$ | ۹۴/۰۳ |
| ۲۶ روز | ۲۳ | ۶/۱۰ | ۵۸/۹۶ | $1/41\times10^{6}$ | ۹۹/۱۴ |
| ۳۲ روز | ۲۴ | **۶/۸۰ | ۶۱/۲۴ | $5/8\times10^{5}$ | ۹۹/۶۴ |

| کاهش تخم انگل (درصد) | تخم انگل (گرم/تعداد) | کاهش سالمونلا (درصد) | سالمونلا (MPN/4g) | کاهش کلیفرم مدفوعی (درصد) | کلیفرم مدفوعی (MPN/g) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۰ | ۴۸ | ۰ | ۱۳۰ | ۰ | $1/17\times10^{7}$ |
| ۴/۱۶ | ۴۶ | ۳۱/۵۳ | ۸۹ | ۲۸/۲۰ | $8/4\times10^{6}$ |
| ۴/۱۶ | ۴۶ | ۴۳/۰۷ | ۷۴ | ۶۳/۲۵ | $4/3\times10^{6}$ |
| ۱۲/۵ | ۴۲ | ۵۶/۹۲ | ۵۶ | ۸۲/۰۵ | $2/1\times10^{6}$ |
| ۱۶/۶۶ | ۴۱ | ۶۵/۳۸ | ۴۵ | ۹۸/۶۳ | $1/6\times10^{5}$ |
| ۱۶/۶۶ | ۴۰ | ۸۶/۱۵ | ۱۸ | ۹۹/۲۵ | $8/69\times10^{6}$ |

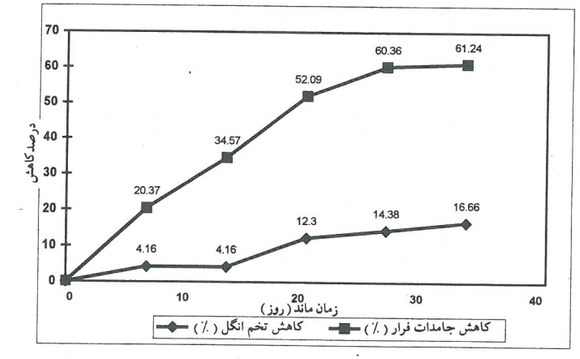
*تخم‌انگل شامل تخم آسکاریس بارور و غیر بارور، تریکوسفال، هیمنولپیس نانا، تنیا، توکسوکارا می‌باشد.
**pH در روز ۳۲ بعد از خاموش کردن هواده‌ها اندازه گیری شد. چون پدیده نیتریفیکاسیون بالا بود.




نمودار ۱- روند تغییرات جامدات فرار همراه با کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی در زمان‌های ماند مختلف

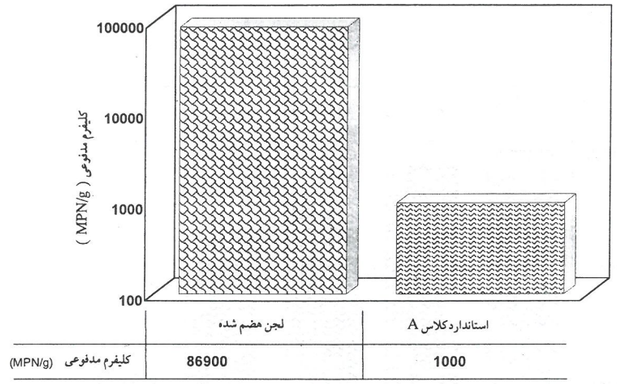



نمودار ۲- روند تغییرات جامدات فرار همراه با سالمونلا در زمان‌های ماند مختلف

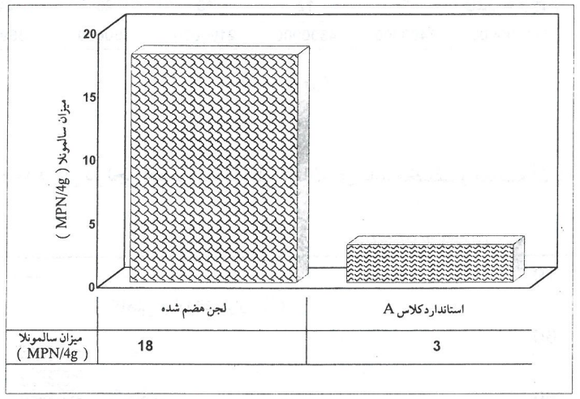



نمودار ۳- روند تغییرات جامدات فرار همراه با تخم انگل بارور در زمان‌های ماند مختلف

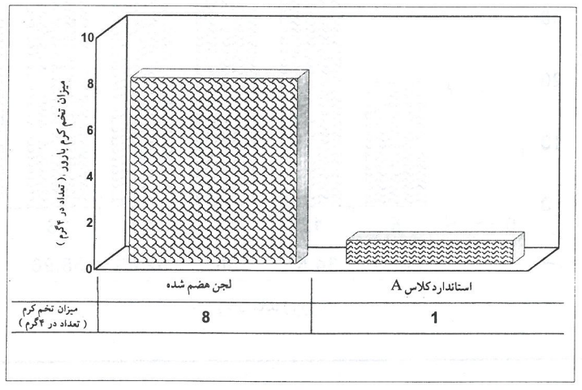




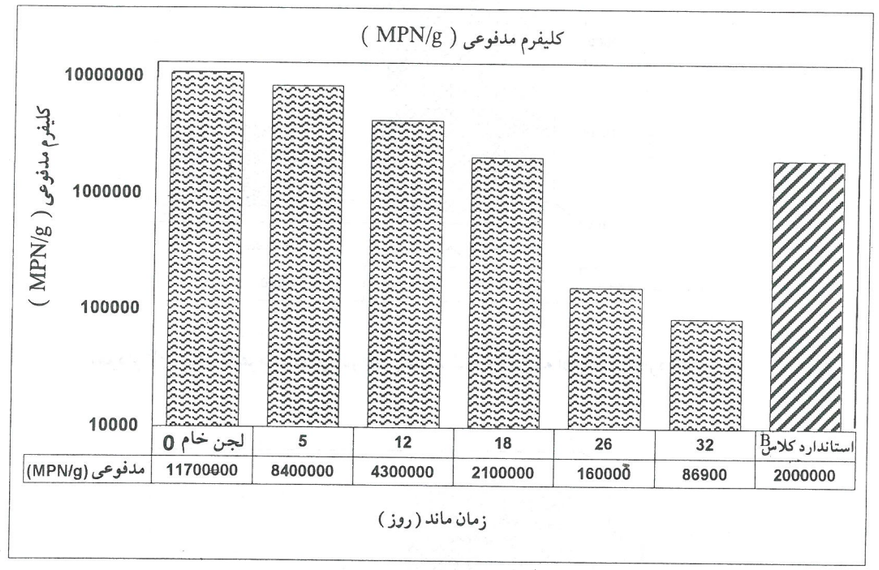

نمودار ۴- میزان کلیفرم مدفوعی در لجن هضم شده و مقایسه آن با استاندارد کلاس A



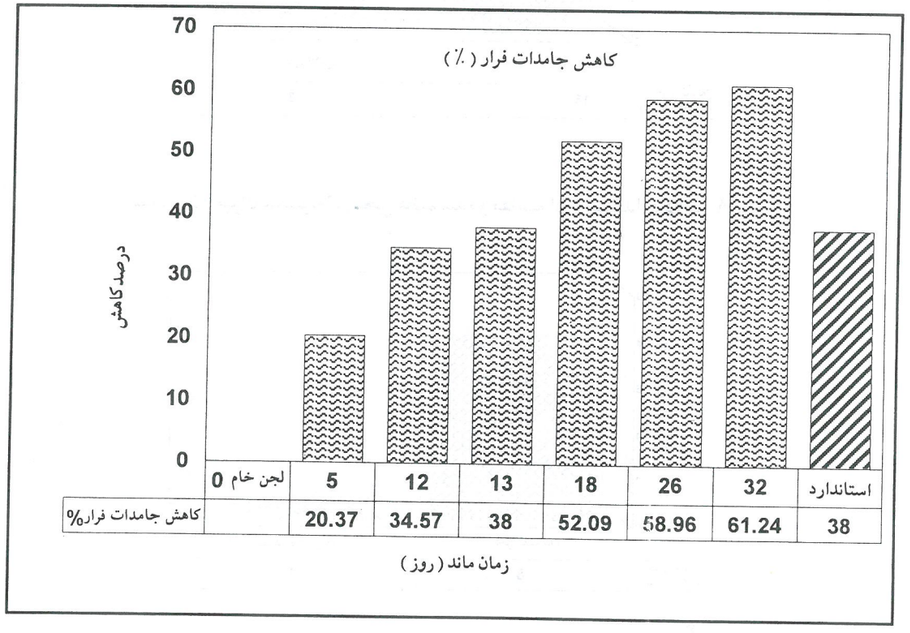

نمودار ۵- میزان سالمونلا در لجن هضم شده و مقایسه آن با استاندارد کلاس A




نمودار ۶- میزان تخم انگل بارو در لجن هضم شده و مقایسه آن با استاندارد کلاس A




نمودار ۷- میزان کلیفرم مدفوعی در لجن هضم شده در طی زمان‌های ماند مختلف و مقایسه آن با استاندارد کلاس B




نمودار ۸- میزان کاهش جامدات فرار در طی زمان‌های ماند مختلف و مقایسه آن با استاندارد کاهش جذب ناقل



را در زمان‌های ماند مختلف در طول هضم هوازی لجن نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، با افزایش زمان ماند میزان جامدات فرار بیشتری از بین رفته و متعاقب آن تخم انگل بیشتری از بین می‌رود. به طوری که در پایان دوره هضم لجن ( ۳۲ روز ) درصد کاهش جامدات فرار به ۶۱/۲۴ و تخم انگل به ۱۶/۶۶درصد می‌رسد.

## مقایسه نتایج به دست آمده با مقادیر استاندارد :

نتایج به دست آمده در طی هضم هوازی لجن را با مقررات کاهش پاتوژن و مقررات کاهش جذب ناقل مقایسه می‌کنیم.

## ۱- مقایسه با مقررات کاهش پاتوژن

سازمان حفاظت محیط زیست ایالت متحده ( U.S.EPA ) در بخش ۵۰۳ این مقررات را در دو کلاس A و B تقسیم کرده که لجن فاضلاب بایستی برای رسیدن به این مقررات دارای شرایط خاصی باشد.

### الف ) مقایسه با مقررات کاهش پاتوژن در کلاس A

در مقررات کاهش پاتوژن در کلاس A پایش کلیفرم مدفوعی، سالمونلا و تخم انگل بارور ضروری است. حال به مقایسه نتایج حاصل از این آزمون‌ها و مقایسه آن با این مقررات می‌پردازیم.

نمودار ۴ میزان کلیفرم مدفوعی در لجن هضم شده به طریقه هوازی و مقایسه آن با استاندارد کلاس A را نشان می‌دهد. همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود میزان کلیفرم مدفوعی در پایان دوره هضم به $8/69\times10^4$ MPN در هرگرم از کل جامدات لجن ( بر حسب وزن خشک ) رسید. در صورتی که مقررات کاهش پاتوژن در کلاس A میزان کلیفرم مدفوعی را ۱۰۰۰MPN در هرگرم از کل جامدات لجن در نظر گرفته است. در نتیجه قادر نیست این استاندارد را برآورده کند.

نمودار ( ۵ ) میزان سالمونلا در لجن هضم شده به طریقه هوازی و مقایسه آن با استاندارد کلاس A را نشان می‌دهد. همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود میزان سالمونلا در پایان دوره هضم به ۱۸ MPN در هر ۴گرم از کل جامدات لجن ( بر حسب وزن خشک ) رسید. در صورتی که مقررات کاهش پاتوژن در کلاس A میزان سالمونلا را ۳ MPN در هر ۴گرم از کل جامدات لجن در نظر گرفته است. در نتیجه قادر نیست این استاندارد را برآورده کند.

نمودار ۶ میزان تخم انگل بارور را در لجن هضم شده به طریقه هوازی و مقایسه آن با استاندارد کلاس A را نشان می‌دهد. همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود میزان تخم انگل بارور در پایان دوره هضم به ۸ عدد در ۴گرم از کل جامدات لجن ( بر حسب وزن خشک ) رسید. در صورتی که مقررات کاهش پاتوژن در کلاس A میزان تخم انگل بارور را ۱ عدد در هر ۴گرم از کل جامدات لجن در نظر گرفته است. در نتیجه قادر نیست این استاندارد را برآورده کند.

پس به طور کلی نتیجه می‌گیریم که لجن حاصل از هضم هوازی در پایان دوره هضم ( ۳۲ روز ) قادر نیست مقررات کاهش پاتوژن در کلاس A را برآورده کند.

### ب- مقایسه با مقررات کاهش پاتوژن در کلاس B

در مقررات کاهش پاتوژن در کلاس B فقط پایش و کنترل کلیفرم مدفوعی ضروری است. نمودار ۷ میزان کلیفرم مدفوعی در لجن هضم شده در پایان دوره هضم هوازی و مقایسه آن با استانداردهای کلاس B را نشان می‌دهد. همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود میزان کلیفرم مدفوعی در لجن هضم شده به طریقه هوازی در پایان دوره هضم ( ۳۲ روز ) به $8/69\times10^4$ MPN در هرگرم از کل جامدات لجن ( بر حسب وزن خشک ) رسید. در صورتی که مقررات کاهش پاتوژن در کلاس B میزان کلیفرم مدفوعی را $2\times10^6$ MPN در هرگرم از کل جامدات لجن در نظر گرفته است و در نتیجه لجن حاصل از هضم هوازی قادر به برآورد مقررات کاهش پاتوژن در کلاس B است.

نکته‌ای که حائز اهمیت می‌باشد این است که در زمان ماند ۱۸ روز طبق نمودار ۷ میزان کلیفرم مدفوعی به $2/1\times10^6$ MPN در هرگرم از کل جامدات لجن رسید. پس در این زمان ماند مقررات کاهش پاتوژن در کلاس B برآورده شد.

## ۲- مقایسه با مقررات کاهش جذب ناقل

کاهش جذب ناقل برای لجن هضم شده به طریقه هوازی در هنگامی که درصد جامدات فرار در طول تصفیه لجن به بیش از ۳۸درصد کاهش یابد و یا هنگامی که سرعت جذب اکسیژن ویژه ( SOUR ) در ۲۰°C معادل یا کمتر از ۱/۵ میلی‌گرم اکسیژن در ساعت در هر گرم از کل جامدات لجن برسد. برآورده می‌شود.

نمودار ۸ میزان کاهش جامدات فرار در زمان‌های ماند مختلف در طی هضم هوازی و مقایسه آن با استاندارد کاهش جذب ناقل را نشان می‌دهد. همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود میزان کاهش جامدات فرار در زمان ماند ۱۲ روز به ۳۴/۵۷ درصد رسید و در زمان ماند ۱۳ روز به ۳۸درصد رسید. از طرف دیگر میزان SOUR در زمان ماند ۲۱ روز به ۰/۷۸ میلی‌گرم اکسیژن در ساعت در هر گرم از کل جامدات لجن رسید. پس در نتیجه مقررات کاهش جذب ناقل در این تحقیق برآورده شد.

## نتیجه گیری

۱- نتایج حاصل از آزمون هضم هوازی لجن نشان داد که در طی زمان ماند ۳۲ روز باکتری‌های شاخص (کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی ) بیش از ۹۹درصد و سالمونلا بیش از ۸۶/۱۵ درصد کاهش می‌یابد. در صورتی که تخم انگل به میزان ۱۶/۶۶ درصد کاهش یافته و در نتیجه هاضم هوازی قادر به کاهش قابل توجه در میزان تخم انگل نمی‌باشد.

۲- نتایج حاصل از عملکرد هاضم هوازی در مقیاس پایلوت نشان داد که قادر به برآورد مقررات کاهش پاتوژن در کلاس A نمی‌باشد لذا جهت برآورد این مقررات بایستی تمهیداتی در طراحی هاضم در نظر گرفته شود. به عنوان مثال باید درجه حرارت و زمان ماند را افزایش داد و یا از فرایندهای PFRP ( فرایندهایی که پاتوژن بیشتری را از بین می‌برد ) استفاده کرد.

۳- نتایج آزمون نشان داد که هاضم هوازی در مقیاس پایلوت قادر است مقررات کاهش پاتوژن در کلاس B را برآورده کند، لذا با رعایت محدودیت محل می‌توان لجن را در زمین‌های کشاورزی، جنگل‌کاری، اماکن عمومی و احیای اراضی و مراتع به‌کار برد و همچنین آن را به صورت سطحی دفع کرد.

۴- لجن حاصل از هضم هوازی در مقیاس پایلوت در زمان ماند ۱۳ روز نشان داد که قادر است مقررات کاهش جذب ناقل را برآورده کند. همچنین میزان SOUR در زمان ماند ۲۱ روز به ۰/۷۸ میلی‌گرم اکسیژن در ساعت در هر گرم از کل جامدات لجن رسید. به طوری که لجن کاملاً بدون بوی نامطبوع بوده و جامدات آلی فرار تا اندازه کافی تثبیت شده است.

۵- در استفاده مجدد از لجن و دفع آن در زمین بایستی ارزیابی اثرات زیست محیطی ( EIA ) در نظر گرفته شود. چنین ارزیابی به اعتبار رهنمون‌های توصیه شده کمک می‌کند.

## منابع و مراجع


۱- فرزادکیا، م. (۱۳۷۸)، "ارائه الگوی مناسب جهت تثبیت لجن فاضلاب شهر تهران"، پایان‌نامه دوره دکترای تخصصی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران.

2- Metcalf and Eddy, Inc. ( 1991 )." *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, Reuse* ", 3th. ed., Mc Graw-Hill.

3- EPA. ( 1992 ). " *Environmental Regulations Technology : Control of Pathogens & Vector Attraction in Sewage Sludge* ", EPA /623/R - 921/031.

4- Cecillue H. ( 1992 ). " *Municipal Sewage Sludge Management Processing Utilization & Disposal* ", Thechnomic, Inc.

5- Gabriel, B. ( 1994 ). " *Wastewater Microbiology* ".

6- Vesilind, P.A., Hartman, G.G., Skene, E.T. ( 1997 ). " *Sludge Management and Disposal for the Practicing Engineer*", Lewis Publisher, Inc.

7- Martin, H., Bistian, H. E., and Stren, G. ( 1990 ). " *Reduction of Microorganisms During Aerobic Sludge Digestion* " Wat. Res. 24 : 1377 - 1383.

8- APHA, AWWA, WFF. ( 1992 )." *Standard Methods for the Examination of water and wastewater* "18th. Ed.