علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره چهاردهم، شماره چهار، زمستان ۹۱

تصفیه‌تکمیلی شیرابه کمپوست با استفاده از راکتورهای هوازی با جریان اختلاط کامل و پیستونی

امیر حسام حسنی [۱]

نادر مختارانی* [۲]

Mokhtarani@modares.ac.ir

اصغر بیات فرد [۳]

تاریخ دریافت:۸۷/۵/۲۵ **تاریخ پذیرش:۸۷/۹/۲۸**

چکیده

امروزه یکی از اقدامات لازم در خصوص مدیریت پسماند جمع‌آوری و تصفیه شیرابه می‌باشد. شیرابه در اثر آزاد شدن رطوبت مازاد زایدات، تجزیه مواد آلی و یا منابع خارجی مانند زهکش آب های سطحی، آب باران و یا آب های زیرزمینی که وارد زباله می‌شوند، به وجود می‌آید. شیرابه فقط مختص به مراکز دفن نبوده و کارخانجات کمپوست نیز در مقیاس بالا شیرابه تولید می کنند. همچنین شیرابه تولیدی در واحدهای تولید کمپوست در مقایسه با مراکز دفن دارای بار آلی بیشتری می‌باشد. در فرایند تصفیه فاضلاب های غلیظ غالباً روش‌های بی‌هوازی با روش‌های هوازی تصفیه فاضلاب همراه هستند. هدف از تحقیق حاضر نیز بررسی کارایی راکتورهای هوازی با جریان‌های اختلاط کامل و پیستونی در تکمیل فرایند تصفیه بی‌هوازی شیرابه کمپوست بوده است. مخازن هوازی مورد مطالعه شامل چهار عدد مخزن بتنی در قالب دو راکتور با جریان اختلاط کامل به صورت موازی هر یک به ابعاد ۶/۵ × ۶ × ۴ متر با حجم مفید $۱۳۶\,m^3$ و دو راکتور با جریان پیستونی به صورت موازی هر یک به ابعاد ۳ × ۲/۵ × ۱۳/۳متر با حجم مفید $۸۹\,m^3$ بود. فاضلاب توسط دیفیوزرهای عمقی نصب شده در کف مخازن هوادهی می‌شد و در انتهای هر واحد از راکتورها تانک ته نشینی لجن در نظر گرفته شده بود.

بهترین نسبت F/M برای حذف بار آلی در راکتورهای اختلاط کامل در محدوده ۰/۱۵-۰/۰۵ حاصل شد. میانگین بازده حذفCOD در راکتورهای اختلاط کامل ۸۰٪ و با نسبت MLVSS/MLSS معادل ۰/۵۵ به دست آمد. همچنین میانگین SVI در

۱- دانشیار، دانشکده محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس*(مسئول مکاتبات).

۳- مربی، گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کنگاور.

راکتورهای اختلاط کامل ۱۰۰ml/g برآورد گردید.

در راکتورهای جریان پیستونی نیز با میانگین بارگذاری ۰/۳۲ $kgCOD/m^3.d$ میانگین بازده حذف COD به میزان ۳۷٪ در نسبت MLVSS/MLSS معادل۰/۵۷ حاصل شد. در دوره بهره برداری از سیستم میانگین SVI در راکتورهای جریان پیستونی نیز ۸۴ml/g بود.

واژه های کلیدی: شیرابه، کارخانه کمپوست، راکتور هوازی جریان پیستونی، راکتور هوازی جریان اختلاط کامل، تصفیه تکمیلی.

مقدمه

مایعی که از داخل مواد زاید جامد به خارج تراوش شده وحاوی مواد محلول و معلق می باشد«شیرابه» نامیده می شود(۱). شیرابه فقط مختص به مراکز دفن نبوده و کارخانجات کمپوست نیز در مقیاس بالا شیرابه تولید می کنند. در شیرابه کارخانجات کمپوست فلزات سنگین، مواد سمی و سایر مواد نامتعارف کمتر وجود داشته و در صورتی که نسبت $\frac{BOD}{COD}$ بین ۰/۶- ۰/۴ باشد می توان توسط روش بیولوژیکی آن را تصفیه نمود(۲).

شیرابه جزء فاضلاب های با آلودگی بسیار بالا می باشد، بنابراین برای تصفیه آن باید ابتدا از روش های تصفیه بیهوازی استفاده شود. ولی پس از تصفیه بیهوازی پساب خروجی هنوز دارای بار آلی بالا بوده و در صورت رها شدن در محیط زیان های زیست محیطی بسیاری را سبب می شود. امروزه روش های هوازی لجن فعال با اصلاحات گوناگونی توسعه یافته اند که بسته به نیاز می توان از آن ها به عنوان تکمیل کننده فرایند تصفیه فاضلاب های غلیظ بهره برد.

روش های تصفیه فاضلاب صنعتی بر حسب نوع صنعت، مشخصات و سایر عوامل متفاوت است. با این حال سیستم تصفیه فاضلاب های صنعتی عموماً شامل واحد هایی است که از اصول زیر پیروی می کنند. عملیات تصفیه فیزیکی، فرایند های شیمیایی، فرایند های فیزیکوشیمیایی، فرایند های بیولوژیک و استفاده از روش های خاص متداول در صنایع شیمیایی نظیر اسمز معکوس (۳).

لجن فعال رشد معلق فرایندی زیستی است که در آن مخلوطی از میکروارگانیسم های هوازی در شرایط رشد تعلیقی با الگوی جریان اختلاط کامل و یا جریان پیستونی در تماس با مواد آلی موجود در فاضلاب قرار می گیرند. در این تحقیق عملکرد راکتورهای اختلاط کامل و جریان پیستونی درتکمیل فرایند بیهوازی تصفیه شیرابه کارخانه کمپوست بررسی شد. با توجه به مطالعات اندک انجام گرفته در مورد تصفیه شیرابه و به ویژه شیرابه کارخانجات کمپوست پس از جستجو های فراوان کار مشابهی یافت نشد تا در این جا بتوان بدان اشاره کرد و تحقیق حاضر نوعی نوآوری محسوب می گردد.

روش بررسی

به منظور دستیابی به اهداف تحقیق به مدت ۱۲ ماه شیرابه حاصل از کارخانه کمپوست شرکت کود آلی گیلان در فصول مختلف مورد آزمایش قرار گرفت و با توجه به این که در برخی روزها تعداد نمونه برداری‌ها بیش از یک مورد بوده بنابراین تعداد نمونه‌ها در این تحقیق بیش از ۳۶۵ مورد بوده است. این تحقیق در مقیاس واقعی و با استفاده از یک سیستم بیهوازی- هوازی شامل دو فیلتر بیهوازی با جریان رو به پایین و رو به بالا به صورت سری و چهار راکتور لجن فعال (اختلاط کامل و با جریان پیستونی) هر کدام به صورت دو واحد و به صورت سری، انجام گرفت. همچنین در ابتدای سیستم واحد خنثی سازی pH پیش بینی شده بود. جهت انجام عملیات ته نشینی پس از مخازن هوادهی از مخازن ته نشینی استفاده شد. این مخازن فلزی و سطح آن ها برابر ۸ متر مربع بود. لازم به-ذکر است که داخل هریک از این مخازن تجهیزات جمع آوری و برگشت لجن در نظر گرفته شده بود.

در این تصفیه خانه همچنین مخزن کلرزنی فلزی به ابعاد

تصفیه تکمیلی شیرابه کمپوست با استفاده ....

۱/۹m× ۲m × ۲m و حجـم مفیـد m^3 ۷/۲ جهـت کلـر زنـی شیرابه تصفیه شده در نظر گرفته شده بود.

حجم مفید راکتورهای اختلاط کامل $136m^3$و جریان پیستونی هر یک $89m^3$ بود. ابتدا راکتورهای اختلاط کامل و سپس جریان پیستونی قرار داشتند. فاضلاب خام (شیرابه) ورودی به راکتورهای بیهوازی دارای متوسط COD برابر ۱۱۵۷۶۴ mg/l، BOD_5 برابر ۵۸۵۰۰ mg/l و درصد ناچیزی از فلزات سنگین بود.

غلظت مواد غذایی ورودی به سیستم تصفیه مهم‌ترین عامل در تعیین درجه واکنش محسوب می گردد ولیکن الگوی جریان فاضلاب در راکتورهای هوادهی تاثیری بر درجه واکنش ندارد (۴). در سیستم یاد شده دلیل استفاده از راکتورهای هوازی با رژیم هیدرولیکی متفاوت بررسی عملکرد هر یک در شرایط برابر در تصفیه نوع خاصی از فاضلاب و مقایسه کارایی آن‌ها بوده است.

در سیستم مورد مطالعه خروجی از راکتور بیهوازی با حداکثر دبی $40m^3/d$ و غلظت های مختلفی از COD با متوسط ۳۰۱۸mg/l به طور مساوی و به صورت سرریز از راکتور بیهوازی وارد راکتورهای هوازی جریان اختلاط کامل شده و توسط دیفیوزرهای کف بستر هوادهی می گردید. DO راکتورها دائماً کنترل گردیده و با تنظیم میزان هوادهی در حد فاصل ۵-۳ میلی گرم بر لیتر قرار گرفت (۵). میانگین pH در این راکتورها نیز برابر ۷/۵ بود. در نهایت نیز خروجی این راکتورها به تانک ته نشینی منتقل می شد. خروجی تانک ته نشینی نیز به طور مساوی بین دو راکتور جریان پیستونی تقسیم می گردید. میانگین COD ورودی به این راکتورها ۱۲۵۱mg/l و pH متوسط در طول دوره راهبری برابر ۷/۹ بوده است. نسبت BOD_5/COD در راکتورهای اختلاط کامل در حدود ۰/۴ و در راکتورهای با جریان پیستونی پایین‌تر از این مقدار بود.

به طور کلی نسبت COD:N:P برای فاضلاب های سخت تجزیه پذیر(high – strength wastes) در بارگذاری‌های پایین۱:۷:۳۵۰ می باشد که در این تحقیق از نسبت ۱:۷:۱۰۰۰ برای این منظور استفاده شد (۶).

روش مورد استفاده در اندازه گیری COD روش کووت یا ویال بود. در این خصوص فتومتر palintest 5000 و در طول موج 640nm مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق همچنین از pH متر مدل Jenway 3510 با الکترود شیشه ای، هدایت سنج الکتریکی از نوع Senso Direct CD21 و DO متر مدل Jenway 970 به ترتیب جهت اندازه گیری pH، هدایت الکتریکی و اکسیژن محلول مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق شامل: حد بهینه F/M، میزان بازده حذفCOD، بررسی روند تغییرات غلظت MLVSS، MLSS و نسبت آن‌ها و بررسی روند تغییرات SVI در سیستم بوده است.

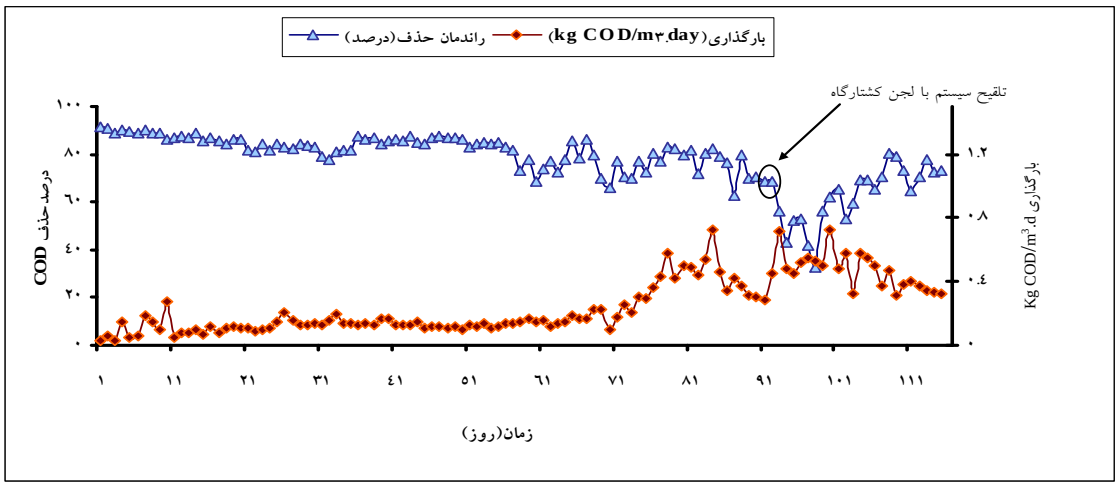
نمونه های برداشت شده طبق دستورالعمل های ارایه شده در کتاب استاندارد متد آزمایش گردید(۷).

در مورد راه اندازی راکتور اختلاط کامل بدین طریق عمل شد که مدتی پس از شروع به راه اندازی راکتور بیهوازی به‌منظور حفظ زمان در حدود ۰/۲ متر از عمق مفید مخزن هوازی با آب شیرین پرشد و روزانه در حدود $1m^3$ از مخزن بیهوازی به درون راکتور هدایت می شد و هوا دهی می‌گردید. پس از گذشت حدود ۳ ماه که راکتورها به صورت ناپیوسته کارکرد غلظت MLSS به حدود ۱۰۰۰mg/lرسیده بود. پس از خروج از حالت ناپیوسته و پیوسته کار نمودن سیستم، خروجی از تانک ته نشینی اول در حکم ورودی راکتورهای جریان پیستونی بود. شرایط راه اندازی راکتورهای جریان پیستونی نیز همانند راکتورهای اختلاط کامل بود. با این تفاوت که به دلیل حجم کم‌تر راکتورهای جریان پیستونی این راکتورها زودتر سرریز شده و به صورت پیوسته فعالیت نمودند و غلظت MLSS در آن‌ها پس از رسیدن به حالت پیوسته پایین تر از غلظت در راکتورهای اختلاط کامل قرار داشت.

نتایج

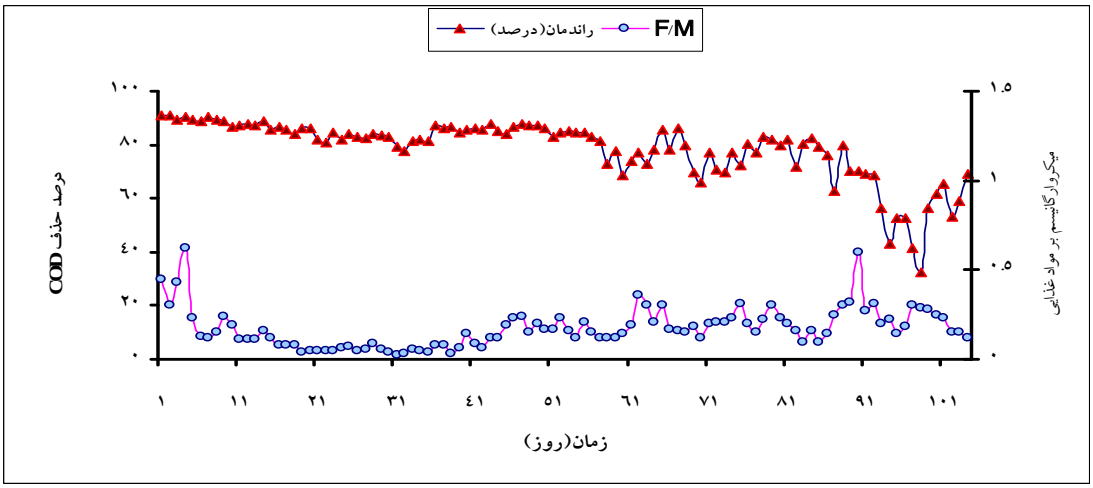
همان طورکه در نمودار ۱ مشاهده می گردد شروع راه اندازی راکتور اختلاط کامل با بارگذاری به میزان $0/033kgCOD/m^3.d$ انجام شده که در همین مدت بازده حذف COD برابر ۹۱/۲٪ بوده است. با نوسان میزان بارگذاری

تا حد ۰/۲۷kgCOD/m^3.d یعنی حدود ۸ برابر مقدار اولیه و در طول مدت ۱۰ روز، بازده حذف COD به ۸۶/۵٪ تقلیل یافت. پس از آن مجددا اقدام به کاهش بارگذاری به میزان ۰/۰۴۸ kgCOD/m^3.d شد و به صورت آرام اقدام به افزایش بارگذاری در راکتور گردید، به طوری که طی مدت ۲ ماه بارگذاری حدود ۴ برابر یعنی به عدد ۰/۱۸۴ kgCOD/m^3.d افزایش یافت. در این مدت بازده حذف COD بین ۸۵-۷۰٪ در تغییر بوده است.



نمودار ۱- بارگذاری و بازده حذف COD در راکتور هوازی با جریان اختلاط کامل

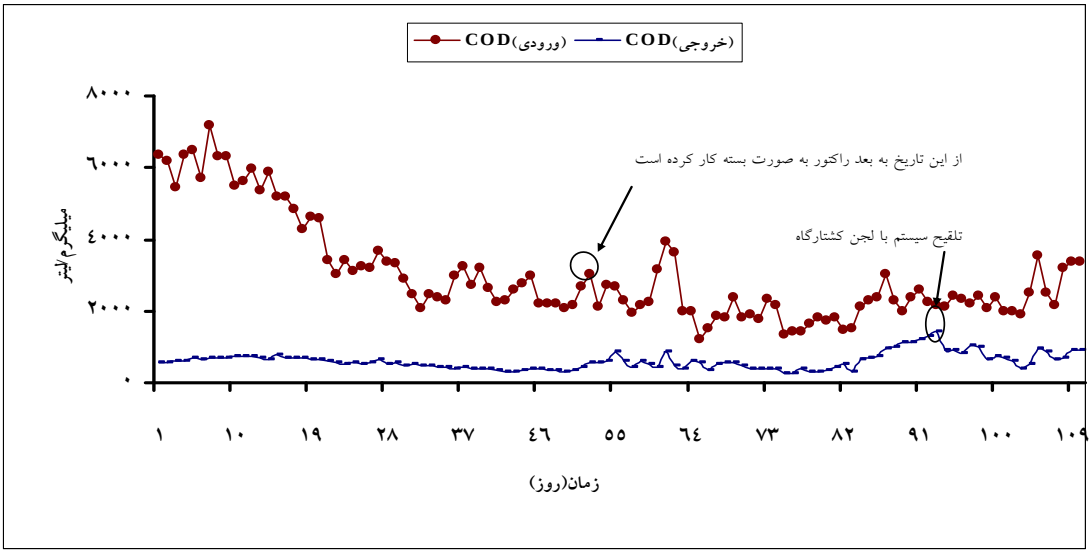
طبق نمودار ۲ بهترین بازده حذف COD در نسبت F/M برابر ۰/۱۵-۰/۰۵ و معادل ۸۵-۸۰٪ می باشد. همان طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌گردد با افزایش این نسبت به بیش از ۰/۱۵ بازده حذف COD به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد.



نمودار ۲- تغییرات بازده حذف COD با پارامتر F/M در راکتور هوازی با جریان اختلاط کامل

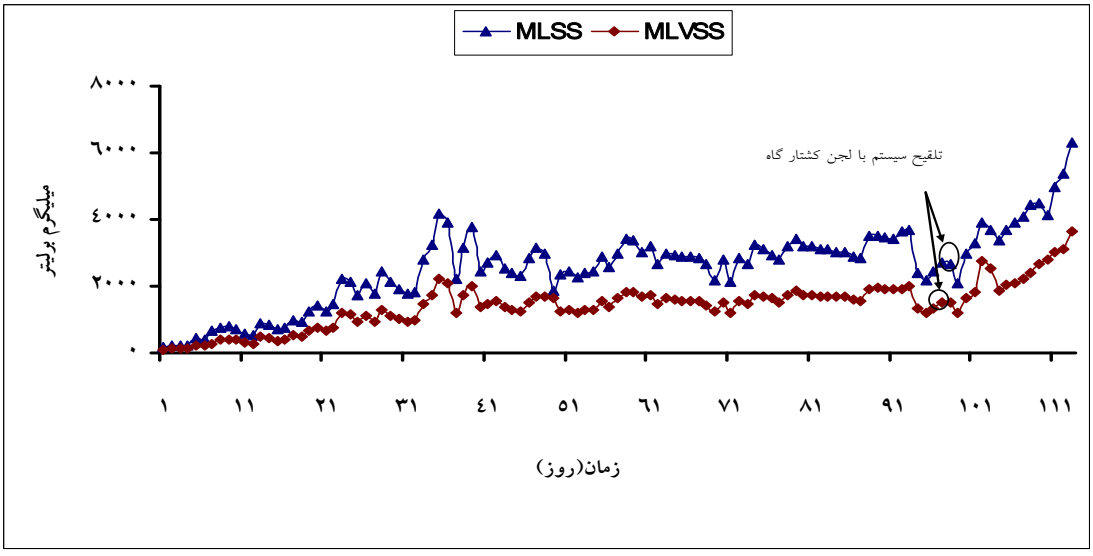
بر اساس نتایج حاصل از تحقیق میانگین غلظت COD ورودی به راکتور اختلاط کامل برابر ۳۰۱۸mg/l و میانگین خروجی از آن نیز برابر ۵۹۸mg/l بوده است. بنابراین میانگین حذف COD در این راکتور برابر ۸۰٪ برآورد گردید.

به دلیل پیوسته بودن مراحل تصفیه در تصفیه خانه، همواره ورودی راکتور اختلاط کامل، خروجی راکتور بیهوازی بوده است و در ابتدای راه اندازی با توجه به بازده پایین راکتور بیهوازی در حذف COD طبیعی بود که میزان COD ورودی به راکتورهای هوازی بالا باشد. روند تغییرات COD ورودی و خروجی در راکتور اختلاط کامل در نمودار ۳ آمده است.



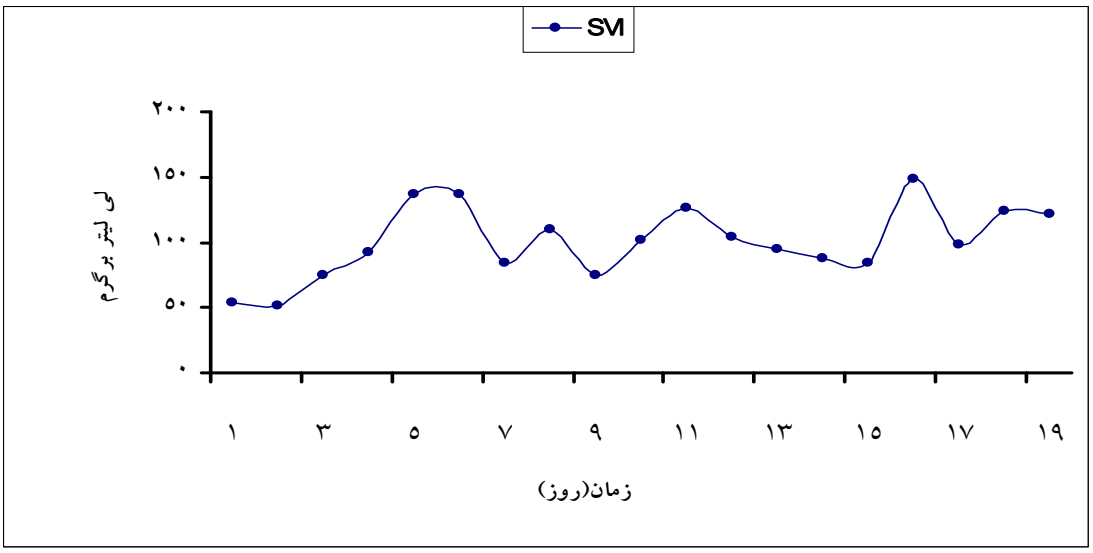
نمودار ۳- تغییرات COD ورودی و خروجی در راکتور هوازی با جریان اختلاط کامل

همچنین میانگین غلظت MLSS در طول مدت بهره برداری برابر ۲۵۶۱mg/l بود. در ابتدای راه اندازی راکتور اختلاط کامل هیچ گونه تلقیحی در راکتور انجام نگرفت و با ورود فاضلاب از خروجی راکتور بیهوازی به راکتور اختلاط کامل عملیات هوادهی انجام می‌گرفت. روند افزایش MLSS به آرامی و باگذشت زمان ادامه یافته به طوری که پس از گذشت حدود ۳ ماه فعالیت به صورت پیوسته، غلظت MLSS به حدود ۳۷۰۰mg/l رسید. پس از آزمایش تأثیر شوک پذیری در راکتور، غلظت MLSS در راکتور کاهش یافت، به طوری که غلظت MLSS به حد ۲۱۰۰mg/l رسید. در مدت عملکرد سیستم، نسبت MLVSS/MLSS برابر ۰/۵۵ بود. روند تغییرات MLSS و MLVSS در نمودار ۴ آمده است.



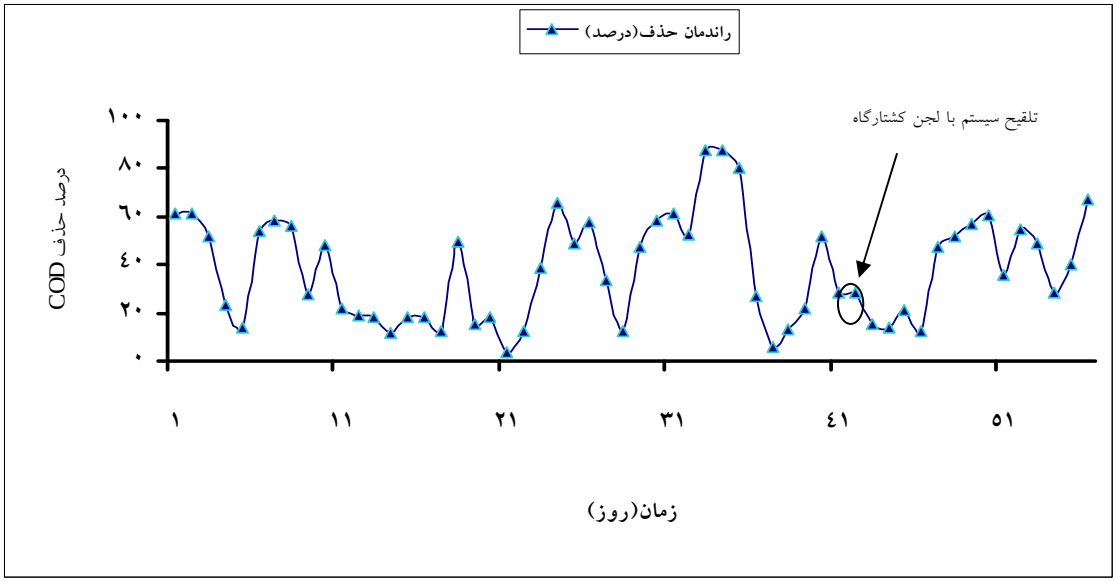
نمودار ۴- تغییرات MLSS و MLVSS در راکتور هوازی با جریان اختلاط کامل

در ایـن تحقیـق پـس از تلقـیح سیسـتم بـا لجـن کشتارگاه اقدام به انجام تست SVI در مقاطع زمانی مختلف در راکتورهای اختلاط کامل شد. میانگین SVI برابر ۱۰۰ml/g و حداکثر و حـداقل آن نیـز در ایـن مـــدت بـــرابـــر ۱۴۸ و ۵۴ میلی لیتر بر گرم به دست آمد. تغییرات SVI نسبت بـه زمـان در نمودار ۵ ارایه شده است.



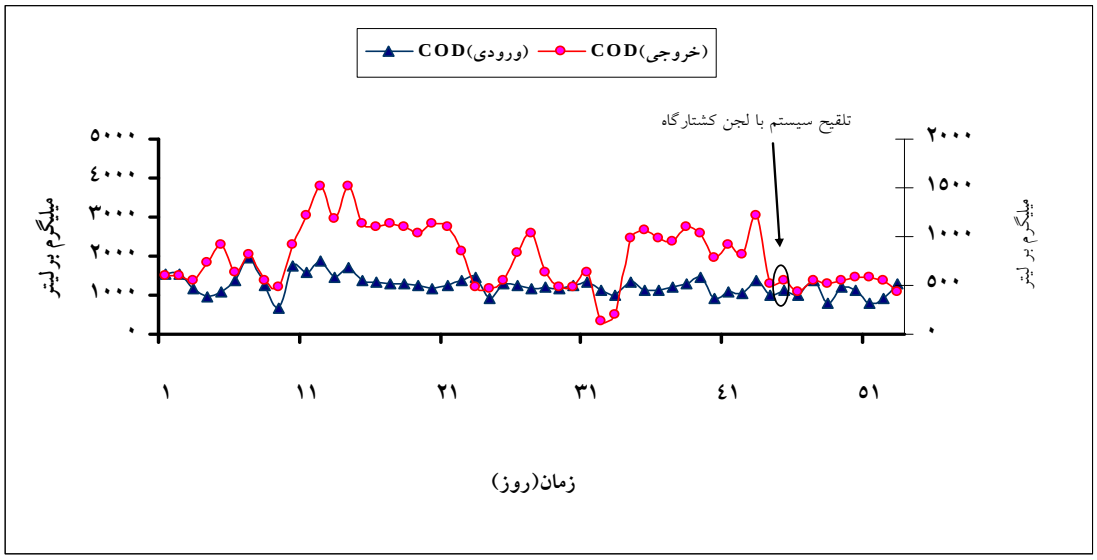
نمودار ۵- تغییرات SVI در راکتور هوازی با جریان اختلاط کامل

همان طور که از نمـودار ۶ مشـخص اسـت رانـدمان حذف COD در راکتور جریان پیستونی دارای نوسـاناتی بـوده که متاثر از تغییرات در نرخ بارگذاری راکتور بوده اسـت، شـایان ذکر است که قبل از تلقیح راکتور، غلظت MLSS در کم‌تـرین حـــد خـــود یعنـــی ۹۳۳mg/l بـــوده و در بارگـــذاری ۰/۲۸۱KgCOD/m^3.d بازده حذف COD به ۸۷/۷٪ رسیده است. در این مطالعـه میـانگین بـار گـذاری در راکتـور جریـان پیستونی برابر ۰/۳۲kgCOD/m^3.d بوده است.



نمودار ۶- تغییرات بازده حذف COD در راکتور هوازی جریان پیستونی

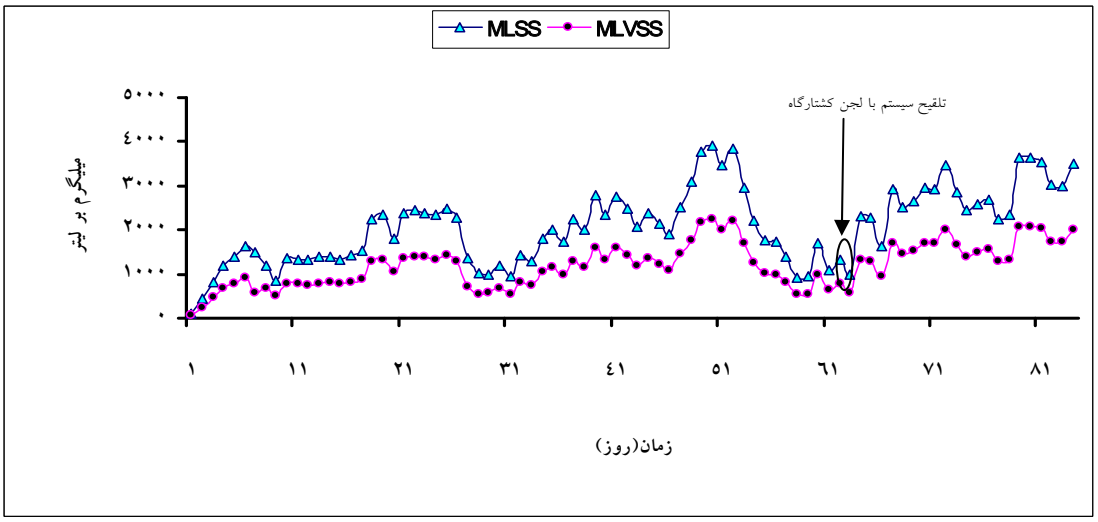
تغییرات غلظت COD ورودی و خروجی در راکتور جریان پیستونی در نمودار ۷ آمده است. چنان که مشاهده می‌گردد میانگین غلظت COD ورودی به راکتور برابر ۱۲۵۱mg/l و میانگین خروجی از آن برابر ۷۹۳mgl می باشد. میانگین حذف COD در راکتور جریان پیستونی نیز در دوره بهره برداری به میزان ۳۷٪ برآورد شده است.



نمودار ۷- تغییرات COD ورودی و خروجی در راکتور هوازی با جریان پیستونی

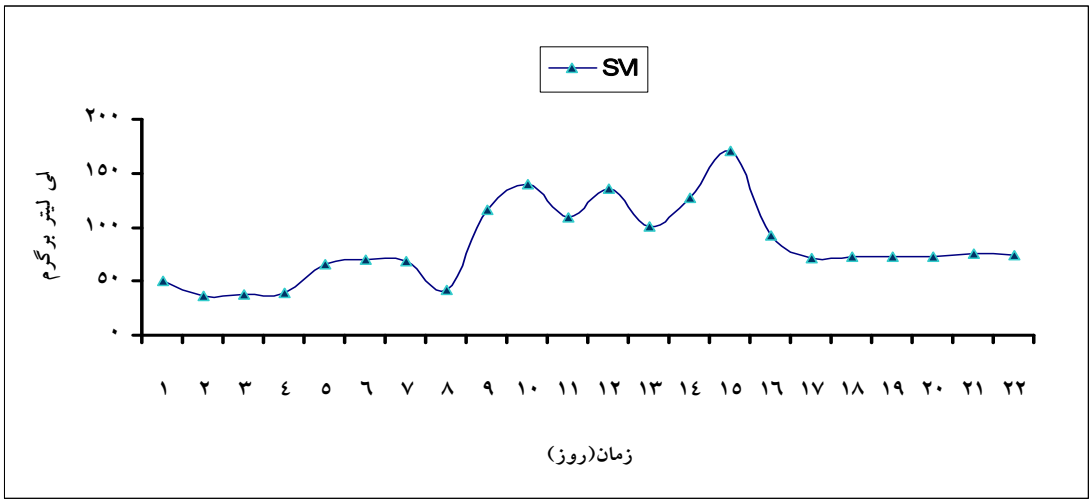
میانگین غلظت MLSS در راکتور جریان پیستونی نیز در طول این مدت برابر ۲۰۷۹mg/l بود. در ابتدای راه اندازی این راکتورها نیز تلقیحی صورت نپذیرفته و پس از گذشت حدود۲ ماه از شروع راه اندازی راکتور غلظت MLSS به ۳۹۰۰mg/l رسید. پس از آزمایش تأثیر پذیری شوک در راکتور اختلاط کامل غلظت MLSS در تانک های جریان پیستونی رو به کاهش گرفت و به میزان ۹۳۳mg/l رسید .پس از تلقیح راکتور با لجن کشتارگاه در طول مدت ۲۳ روز غلظت

MLSS به ۳۵۳۴mg/l افزایش یافت. در این مقطع نسبت MLVSS به MLSS برابر ۵۷٪ برآورد گردیده و همان طور که در نمودار ۸ مشاهده می‌شود روند تغییرات آن‌ها تقریبا یکسان و یکنواخت بوده است.



نمودار ۸- تغییرات MLSS و MLVSS در راکتور هوازی با جریان پیستونی

همان طور که در نمودار ۹ نشان داده شده است میانگین SVI در راکتورهای جریان پیستونی برابر ۸۴ml/g بوده است. حداکثر و حداقل SVI نیز در این مدت به میزان ۱۷۱ و۳۶ اندازه گیری شده است. چنان‌که مشاهده می گردد، تغییرات SVI در راکتور در اکثر اوقات در حد فاصل استاندارد یعنی ml/g ۱۵۰-۵۰ قرار داشته است.



نمودار ۹- تغییرات SVI در راکتور هوازی با جریان پیستونی

تفسیر نتایج

بر اساس نتایج تحقیق در راکتورهای اختلاط کامل به منظور تصفیه هوازی شیرابه زباله کارخانه کمپوست، در صورت افزایش بارگذاری باید به آرامی عمل نموده و در طولانی مدت بار راکتور را افزایش داد.

بهترین بازده حذف COD در راکتورهای اختلاط کامل در نسبت F/M برابر ۰/۱۵-۰/۰۵ می‌باشد و در خارج از این محدوده بازده حذف COD کاهش می‌یابد.

در تصفیه خانه مورد مطالعه میانگین بازده حذف COD در راکتورهای ا ختلاط کامل برابر ۸۰٪ و در راکتورهای جریان پیستونی برابر ۳۷٪ بوده است. بنابراین با احتساب ۳۰۱۸ میلی گرم در لیتر به عنوان میانگین COD فاضلاب ورودی به راکتور اختلاط کامل می‌توان انتظار داشت که COD در خروجی تصفیه خانه تا حدود ۳۸۰ میلی گرم در لیتر کاهش یابد.

با مقایسه میزان COD خروجی از تصفیه خانه با استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست کشور در خصوص دفع پسماند به محیط‌های پذیرنده نتیجه می‌شود که میزان COD خروجی از تصفیه خانه اندکی بالاتر از میزان مجاز بوده و بنابراین برای کاهش بار آلی موجود باقی‌مانده باید از فرایندهای تصفیه تکمیلی بهره جست.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از شرکت جهش کیمیا که با حمایت مالی در به ثمر رسیدن این تحقیق نقش به سزایی داشته کمال تشکر را دارند. همچنین از کلیه کارکنان محترم شرکت کود آلی گیلان، که با در اختیار قرار دادن امکانات و اطلاعات ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، قدردانی می‌گردد.

منابع

۱. اویسی،داود،۱۳۸۳،"مطالعه و طراحی بهینه راکتور بیولوژیکی بیهوازی جهت تصفیه شیرابه جوان مراکز دفن زباله شهری"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۲. بیات فرد، اصغر،۱۳۸۶"بررسی تصفیه پذیری شیرابه حاصل از کارخانه کمپوست با استفاده از روش بیهوازی-هوازی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

۳. انصاری زاده، محمد،۱۳۸۶،" بررسی امکان افزایش کارایی سیستم تصفیه فاضلاب کارخانه صنایع لبنی پگاه فارس و ارایه راهکارهای ارتقای آن"،پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده بهداشت دانشگاه تهران.

4. Vavilin, V.A, "The Theory and Design of Aerobic Biological Treatment" J. Biotechnology and Bioengineering, Vol 24, PP 1721-1747, 1982.

۵. "راهبری تصفیه خانه های فاضلاب"، ترجمه مرکز تحقیقات و بهبود بهره وری صنعت آب و فاضلاب (وابسته به وزارت نیرو)، چاپ ۱۳۷۹، انتشارات موسسه فرهنگی انتشاراتی راستان، جلد۱.

6. Gerardi MH. The Microbiology of Anaerobic Digesters. New York: John Willey & Sons. 2003.

7. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA, 2005. American Public Health Association (APHA), 21th ed. Washington, DC.