

## تصفیه تکمیلی شیرابه کمپوست با استفاده از راکتورهای هوازی با جریان اختلاط کامل و پیستونی

امیر حسام حسنی<sup>۱</sup>

نادر مختارانی\*<sup>۲</sup>

[Mokhtarani@modares.ac.ir](mailto:Mokhtarani@modares.ac.ir)

اصغر بیات فرد<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۷/۹/۲۸

تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۲۵

### 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 آب‌های سطحی، آب باران و یا آب‌های زیرزمینی که وارد زباله می‌شوند، به وجود می‌آید. شیرابه فقط مختص به مراکز دفن نبوده و کارخانجات کمپوست نیز در مقیاس بالا شیرابه تولید می‌کنند. همچنین شیرابه تولیدی در واحدهای تولید کمپوست در مقایسه با مراکز دفن دارای بار آلی بیشتری می‌باشد. در فرایند تصفیه فاضلاب‌های 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  $۶/۵ \times ۶ \times ۴$  متر با حجم مفید  $۱۳۶ m^3$  و دو راکتور با جریان پیستونی به صورت موازی هر یک به ابعاد  $۲/۵ \times ۳ \times ۱۳/۳$  متر با حجم مفید  $۱۹ m^3$  بود. فاضلاب توسط دیفیوزرهای عمقی نصب شده در کف مخازن هوادهی می‌شد و در انتهای هر واحد از راکتورها تانک ته‌نشینی 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 حذف COD 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  $10 \cdot ml/g$  برآورد گردید.

در راکتورهای جریان پیستونی نیز با میانگین بارگذاری  $0.32 \text{ kgCOD}/m^3 \cdot d$  میانگین بازده حذف COD به میزان ۳۷٪ در نسبت  $MLVSS/MLSS$  معادل ۰/۵۷ حاصل شد. در دوره بهره برداری از سیستم میانگین  $SVI$  در راکتورهای جریان پیستونی نیز  $84 \text{ ml/g}$  بود.

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

## مقدمه

تماس با مواد آلی موجود در فاضلاب قرار می گیرند. در این تحقیق عملکرد راکتورهای اختلاط کامل و جریان پیستونی در تکمیل فرایند بیهوای 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 جستجوهای 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 بیهوای- هوای شامل دو فیلتر بیهوای 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 هر یک از این مخازن تجهیزات جمع آوری و برگشت لجن در نظر گرفته شده بود.

در این تصفیه خانه همچنین مخزن کلرزی فلزی به ابعاد

مایعی که از داخل مواد زاید جامد به خارج تراوش شده و حاوی 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 بیهوای استفاده شود. ولی پس از تصفیه بیهوای 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 هوای 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 هوای در شرایط رشد تعلیقی با الگوی جریان اختلاط کامل و یا جریان پیستونی در

تصفیه تکمیلی شیرابه کمپوست با استفاده ....

شیرابه تصفیه شده در نظر گرفته شده بود.

$2m \times 2m \times 1/9m$  و حجم مفید  $7/2 m^3$  جهت کلر زنی



کووت یا ویال بود. در این خصوص فتومتر 5000 palintest و در طول موج 640nm مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق همچنین از pH متر مدل Jenway 3510 با الکتروود 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 حذف COD، 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 بیهواری به منظور حفظ زمان در حدود ۰/۲ متر از عمق مفید مخزن هواری با آب شیرین پرشد و روزانه در حدود ۱m<sup>3</sup> از مخزن بیهواری به درون راکتور هدایت می شد و هوا دهی می گردید. پس از گذشت حدود ۳ ماه که راکتورها به صورت ناپیوسته کار کرد غلظت MLSS به حدود ۱۰۰۰mg/l رسیده 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 کم تر 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 طور که در نمودار ۱ مشاهده می گردد شروع راه اندازی راکتور اختلاط کامل با بارگذاری به میزان ۰/۰۳۳kgCOD/m<sup>3</sup>.d انجام شده که در همین مدت بازده حذف COD برابر ۹۱/۲٪ بوده است. با نوسان میزان بارگذاری

حجم مفید راکتورهای اختلاط کامل ۱۳۶m<sup>3</sup> و جریان پیستونی هر یک ۸۹m<sup>3</sup> بود. ابتدا راکتورهای اختلاط کامل و سپس جریان پیستونی قرار داشتند. فاضلاب خام (شیرابه) ورودی به راکتورهای بیهواری دارای متوسط COD برابر ۱۱۵۷۶۴ mg/l، BOD<sub>5</sub> برابر ۵۸۵۰۰ mg/l و درصد ناچیزی از فلزات سنگین بود.

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

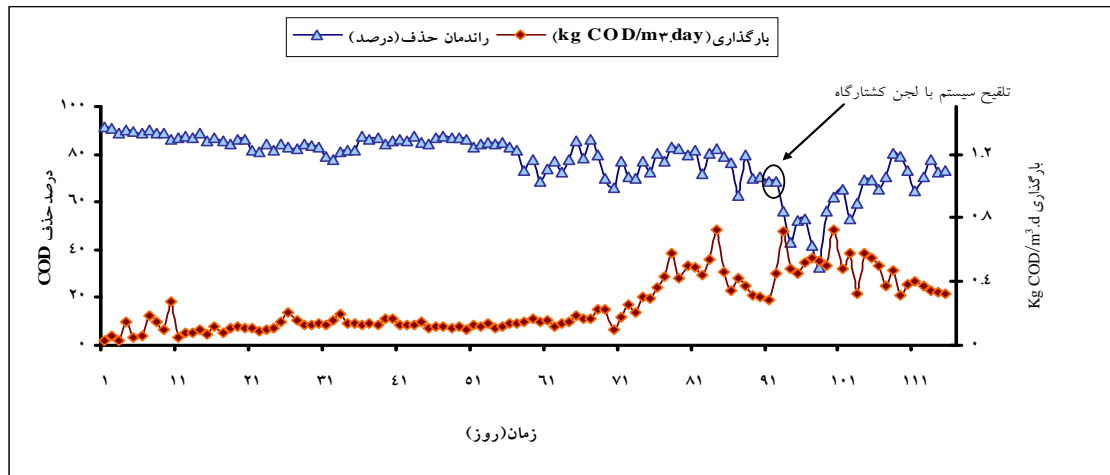
در سیستم مورد مطالعه خروجی از راکتور بیهواری با حداکثر دبی ۴۰m<sup>3</sup>/d و غلظت های مختلفی از COD با متوسط ۳۰۱۸mg/l به طور مساوی و به صورت سرریز از راکتور بیهواری وارد راکتورهای هواری جریان اختلاط کامل شده و توسط دیفیوزرهای کف بستر هوادهی می گردید. DO راکتورها دائماً کنترل گردیده و با تنظیم میزان هوادهی در حد فاصل ۳-۵ 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<sub>5</sub>/COD در راکتورهای اختلاط کامل در حدود ۰/۴ و در راکتورهای با جریان پیستونی پایین تر از این مقدار بود.

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

روش مورد استفاده در اندازه گیری COD روش

بارگذاری در راکتور گردید، به طوری که طی مدت ۲ ماه بارگذاری حدود ۴ برابر یعنی به عدد  $0.184 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$  افزایش یافت. در این مدت بازده حذف COD بین ۸۵-۷۰٪ در تغییر بوده است.

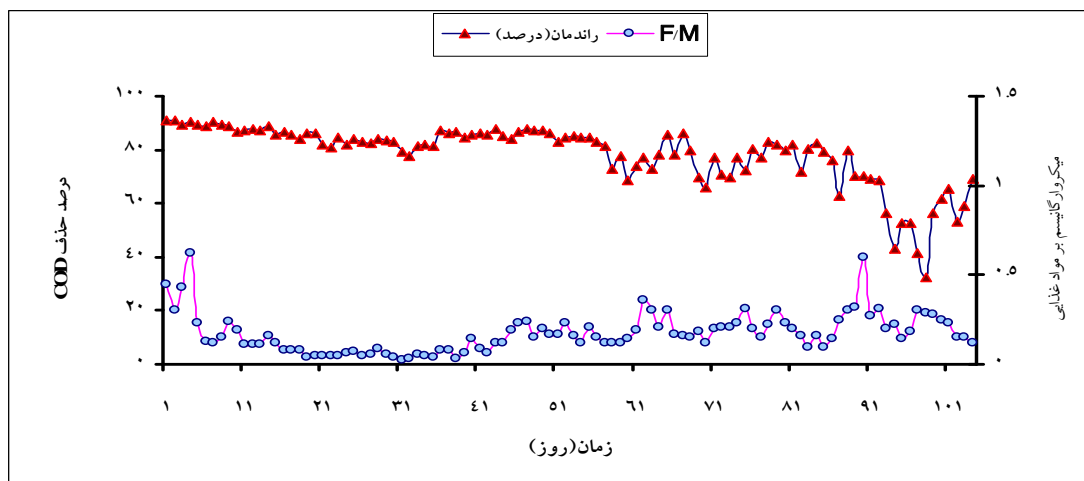
تا حد  $0.27 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$  یعنی حدود ۸ برابر مقدار اولیه و در طول مدت ۱۰ روز، بازده حذف COD به ۸۶/۵٪ تقلیل یافت. پس از آن مجدداً اقدام به کاهش بارگذاری به میزان  $0.48 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$  شد و به صورت آرام اقدام به افزایش



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

از ۱۵٪ بازده حذف COD به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد.

طبق نمودار ۲ بهترین بازده حذف COD در نسبت F/M برابر ۰/۱۵-۰/۰۵ و معادل ۸۵-۸۰٪ می‌باشد. همان طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌گردد با افزایش این نسبت به بیش



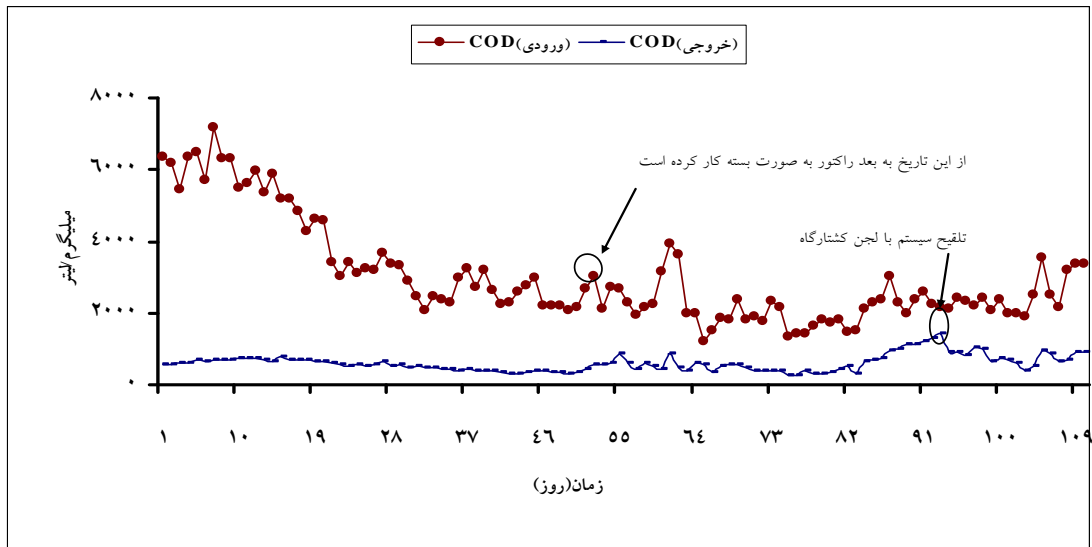
نمودار ۲- تغییرات بازده حذف COD با پارامتر F/M در راکتور هوایی با جریان اختلاط کامل

میانگین خروجی از آن نیز برابر  $598 \text{ mg/l}$  بوده است. بنابراین میانگین حذف COD در این راکتور برابر ۸۰٪ برآورد گردید.

بر اساس نتایج حاصل از تحقیق میانگین غلظت COD ورودی به راکتور اختلاط کامل برابر  $3018 \text{ mg/l}$  و

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.

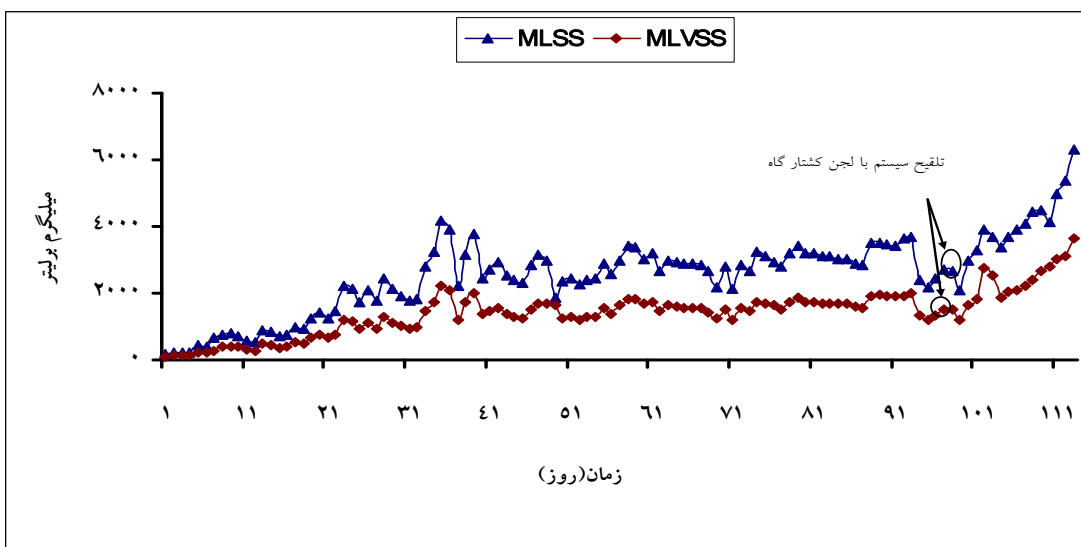
به دلیل پیوسته بودن مراحل تصفیه در تصفیه خانه، همواره ورودی راکتور اختلاط کامل، خروجی راکتور بیهوازی بوده است و در ابتدای راه اندازی با توجه به بازده پایین راکتور بیهوازی در



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

حدود ۳ ماه فعالیت به صورت پیوسته، غلظت MLSS به حدود  $3700 \text{ mg/l}$  رسید. پس از آزمایش تأثیر شوک پذیری در راکتور، غلظت MLSS در راکتور کاهش یافت، به طوری که غلظت MLSS به حد  $2100 \text{ mg/l}$  رسید. در مدت عملکرد سیستم، نسبت  $\text{MLVSS/MLSS}$  برابر  $0/55$  بود. روند تغییرات MLSS و MLVSS در نمودار ۴ آمده است.

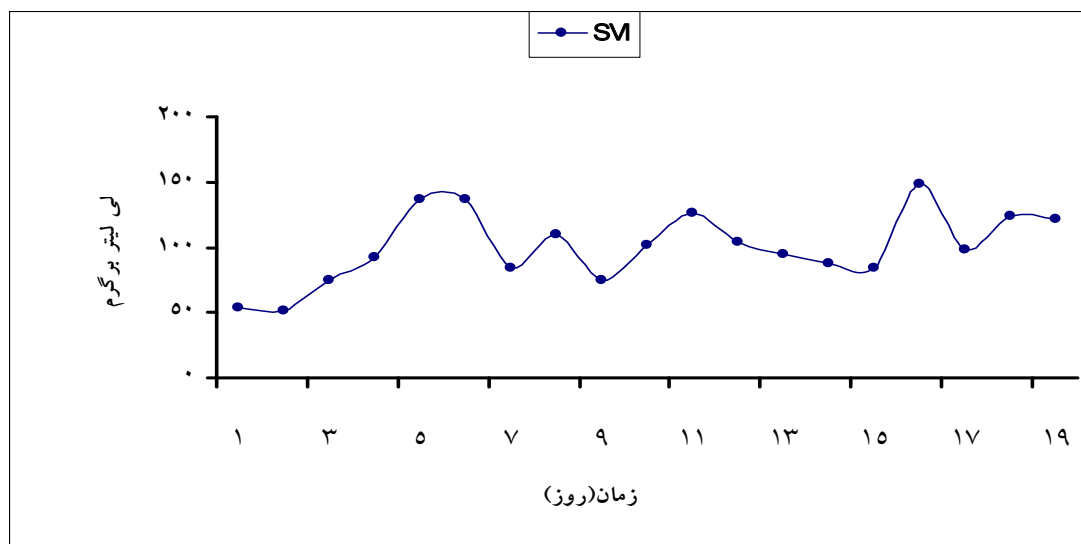
همچنین میانگین غلظت MLSS در طول مدت بهره برداری برابر  $2561 \text{ mg/l}$  بود. در ابتدای راه اندازی راکتور اختلاط کامل هیچ گونه تلفیحی در راکتور انجام نگرفت و با ورود فاضلاب از خروجی راکتور بیهوازی به راکتور اختلاط کامل عملیات هوادهی انجام می گرفت. روند افزایش MLSS به آرامی و باگذشت زمان ادامه یافته به طوری که پس از گذشت



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

حداکثر و حداقل آن نیز در این مدت برابر ۱۴۸ و ۵۴ میلی لیتر بر گرم به دست آمد. تغییرات SVI نسبت به زمان در نمودار ۵ ارایه شده است.

در این تحقیق پس از تلقیح سیستم با لجن کشتارگاه اقدام به انجام تست SVI در مقاطع زمانی مختلف در راکتورهای اختلاط کامل شد. میانگین SVI برابر  $100 \text{ ml/g}$  و

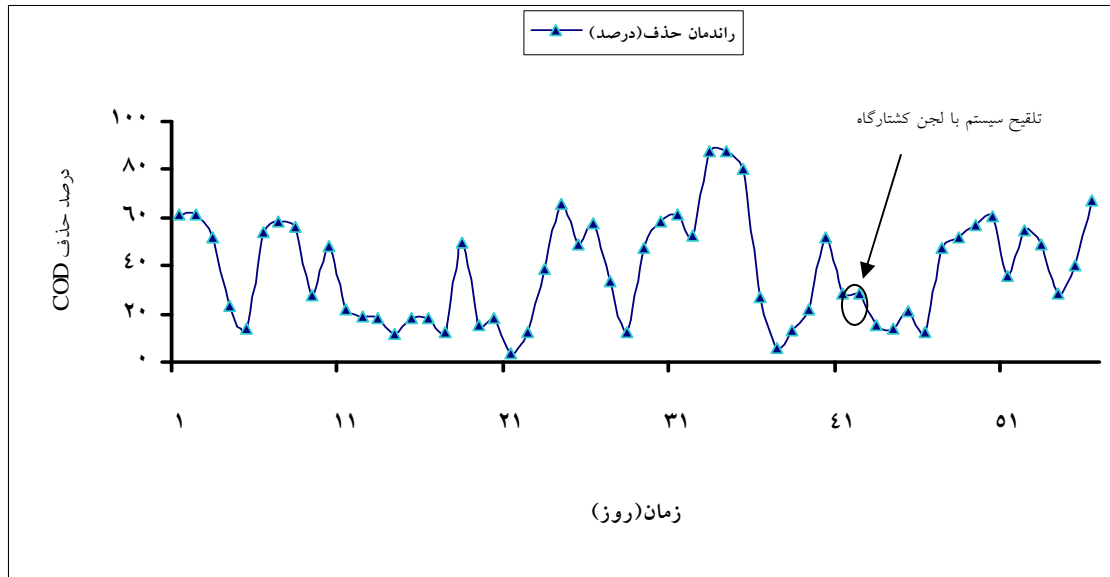


نمودار ۵- تغییرات SVI در راکتور هوازی با جریان اختلاط کامل

حد خود یعنی  $933 \text{ mg/l}$  بوده و در بارگذاری  $0.281 \text{ KgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$  بازده حذف COD به  $87.7\%$  رسیده است. در این مطالعه میانگین بار گذاری در راکتور جریان پیستونی برابر  $0.32 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$  بوده است.

همان طور که از نمودار ۶ مشخص است راندمان حذف COD در راکتور جریان پیستونی دارای نوساناتی بوده که متأثر از تغییرات در نرخ بارگذاری راکتور بوده است، شایان ذکر است که قبل از تلقیح راکتور، غلظت MLSS در کمترین

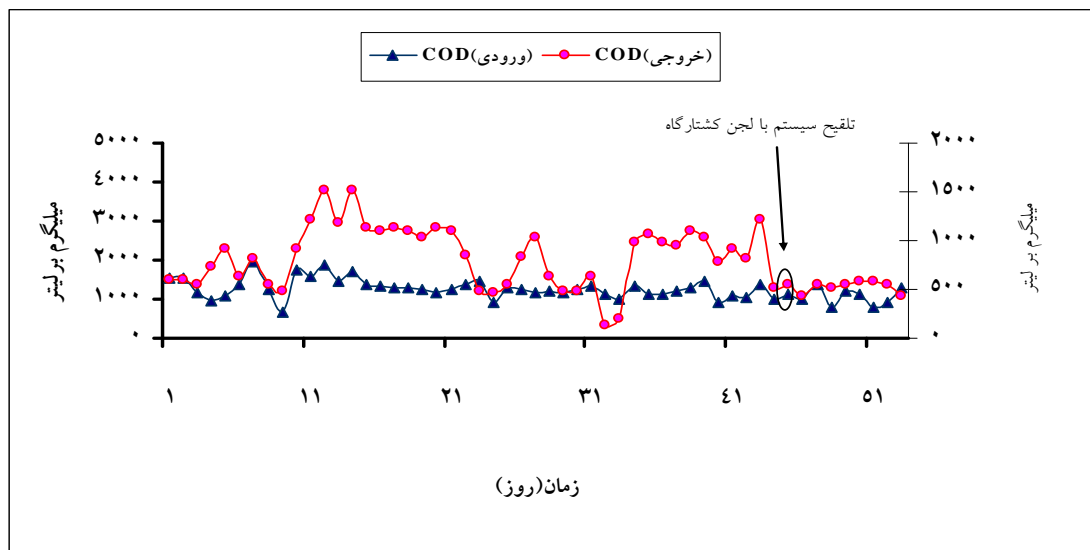




نمودار ۶- تغییرات بازده حذف COD در راکتور هوازی جریان پیستونی

میانگین حذف COD در راکتور جریان پیستونی نیز در دوره بهره برداری به میزان ۳۷٪ برآورد شده است. میانگین خروجی از آن برابر  $793 \text{ mg/l}$  می باشد.

تغییرات غلظت COD ورودی و خروجی در راکتور جریان پیستونی در نمودار ۷ آمده است. چنان که مشاهده می گردد میانگین غلظت COD ورودی به راکتور برابر

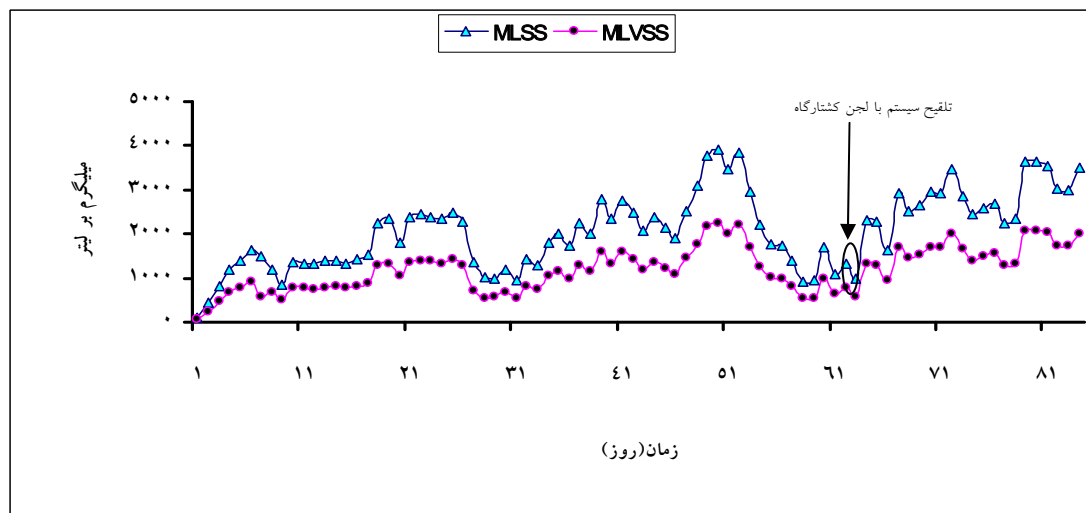


نمودار ۷- تغییرات COD ورودی و خروجی در راکتور هوازی با جریان پیستونی

به  $3900 \text{ mg/l}$  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  $933 \text{ mg/l}$  رسید. پس از تلقیح راکتور با لجن کشتارگاه در طول مدت ۲۳ روز غلظت

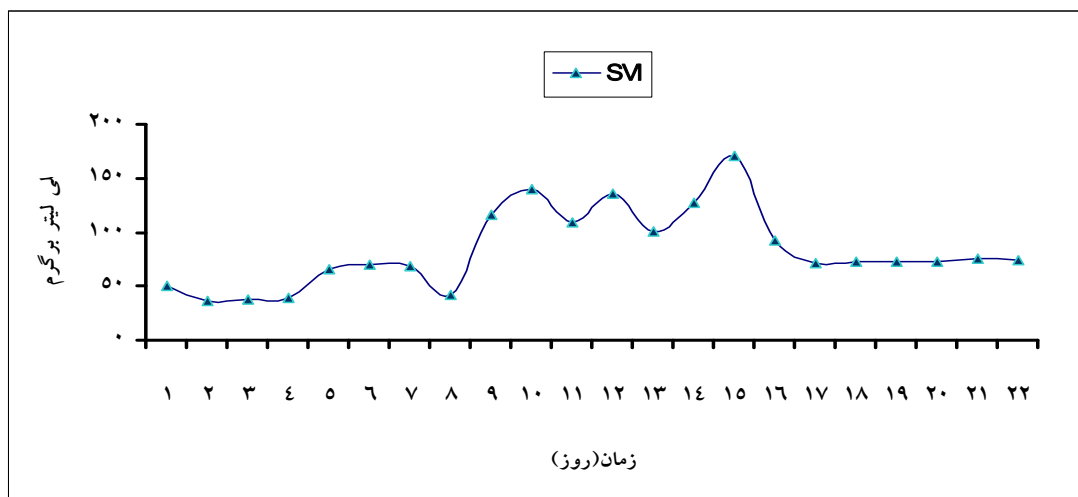
میانگین غلظت MLSS در راکتور جریان پیستونی نیز در طول این مدت برابر  $2079 \text{ mg/l}$  بود. در ابتدای راه اندازی این راکتورها نیز تلقیحی صورت پذیرفته و پس از گذشت حدود ۲ ماه از شروع راه اندازی راکتور غلظت MLSS

MLSS به  $3534 \text{ mg/l}$  افزایش یافت. در این مقطع نسبت  
 MLVSS به MLSS برابر  $57\%$  برآورد گردیده و همان طور  
 که در نمودار ۸ مشاهده می‌شود روند تغییرات آن‌ها تقریباً  
 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  $84 \text{ ml/g}$   
 بوده است. حداکثر و حداقل SVI نیز در این مدت به میزان  
 $171$  و  $36$  اندازه گیری شده است. چنان‌که مشاهده می‌گردد،  
 تغییرات SVI در راکتور در اکثر اوقات در حد فاصل استاندارد  
 یعنی  $50-150 \text{ ml/g}$  قرار داشته است.



نمودار ۹- تغییرات SVI در راکتور هوازی با جریان پیستونی

#### تفسیر نتایج

صورت افزایش بارگذاری باید به آرامی عمل نموده و در طولانی  
 مدت بار راکتور را افزایش داد.

بر اساس نتایج تحقیق در راکتورهای اختلاط کامل  
 به منظور تصفیه هوازی شیرابه زباله کارخانه کمپوست، در

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 ارائه 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. "راهنمای 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، جلد ۱.
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.

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

در تصفیه خانه مورد مطالعه میانگین بازده حذف COD در راکتورهای اختلاط کامل برابر ۰/۸۰٪ و در راکتورهای جریان پیستونی برابر ۰/۳۷٪ بوده است. بنابراین با احتساب ۳۰۱۸ میلی گرم در لیتر به عنوان میانگین COD فاضلاب ورودی به راکتور اختلاط کامل می توان 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 محیط های پذیرنده نتیجه می شود که میزان COD خروجی از تصفیه خانه اندکی بالاتر از میزان مجاز بوده و بنابراین برای کاهش بار آلی موجود باقی مانده 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 می گردد.

#### منابع