

# بررسی پتانسیل کرم‌های توبیفکس در کاهش جرم و حجم لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در مقیاس آزمایشگاهی

حسین گنجی دوست<sup>۲</sup>

بیبا آیتی<sup>۲</sup>

سمانه پاشا زانوسی<sup>۱</sup>

پذیرش ۹۱/۱۰/۷

(دریافت ۹۰/۱۲/۱)

## چکیده

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب حجم زیادی از لجن مازاد بیولوژیکی تولید می‌شود که هزینه فرایند تصفیه و دفع آن تقریباً نیمی از کل هزینه بهره‌برداری از تصفیه‌خانه است. در این تحقیق سعی بر آن شد تا در مقیاس آزمایشگاهی به کمک روشی نسبتاً کم هزینه‌تر و با صرف انرژی کمتر، میزان حجم و جرم لجن کاهش داده شود. لذا با ایجاد شرایط زیستی مطلوب و رشد و تکثیر کرم‌های نوع توبیفکس در بستر لجن که نوع متداول کرم در تصفیه‌خانه فاضلاب است، سپس با اندازه‌گیری VSS، TSS و میزان رشد کرم‌ها، مقدار کاهش جرم و حجم تعیین شد. در این روش با حضور کرم‌ها با ضریب رشد  $0.05/d$  بر روز، روند کاهش VSS معادل ۲۶ میلی‌گرم در لیتر در روز، کاهش TSS و حجم لجن با مقدار اولیه ۲۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر و ۲۰۰۰ لیتر به ترتیب معادل ۴۰ و ۲۰ درصد مشاهده شد. همچنین COD محلول با مقدار اولیه ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تا ۵۰ درصد در شرایط آزمایش کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: توبیفکس، لجن، COD، TSS، VSS

## Investigation of *Tubifex* Worms Potential in Mass and Volume Reduction of Sludge Wastewater Treatment Plants in Laboratory Scale

Samaneh Pasha Zanousi<sup>1</sup>

Bitā Ayati<sup>2</sup>

Hossein Ganjidoost<sup>3</sup>

(Received Dec. 27, 2012 Accepted Feb. 20, 2012)

### Abstract

Large amount of excess waste from activated sludge is generated in wastewater treatment plants which its treatment, transportation and disposal costs are estimated to be over 50 percent of total plant cost operation. In this research it was tried to decrease the amount of sludge volume and its mass by using relative low cost and low energy consumed process in laboratory scale. By developing suitable environmental conditions and population increase and growth of aquatic *Tubifex* worms in sludge (conventional kinds of worms in wastewater treatment plants) and with measurement of TSS, VSS and worms growth rate, sludge mass and volume reduction were determined. According to the results, in specific growth rate of  $0.05 d^{-1}$ , VSS reduction of 26 mg/l.d and with initial sludge amount of 2850 mg/l and 2000 mg/l, TSS and sludge volume reduction of 40 and 20 percent were observed, respectively. 50 percent of soluble COD with initial amount of 500 mg/l was also removed in the laboratory conditions.

**Keywords:** *Tubifex*, Sludge, COD, TSS, VSS.

1. M.Sc. Student of Civil and Env. Eng., Tarbiat Modares University, Tehran
2. Assoc. Prof. of Civil and Env. Eng., Tarbiat Modares University, Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 82883328 ayati\_bi@modares.ac.ir
3. Prof. of Civil and Env. Eng., Tarbiat Modares University, Tehran

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- ۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران (نویسنده مسئول) ۸۲۸۸۳۳۲۸ (۰۲۱) ayati\_bi@modares.ac.ir
- ۳- استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

کرمهای موجود در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب عبارت‌اند از آنیلید<sup>۱</sup>، آنولوسوما همپریچی<sup>۲</sup>، آ. واریگاتوم<sup>۳</sup>، آ. تنبراروم<sup>۴</sup> و نایس<sup>۵</sup>. این کرمها از باکتری‌های زنده موجود در محیط (فاضلاب و یا لجن) به‌عنوان منبع غذایی خود استفاده می‌کنند به‌همین دلیل آنها را کرمهای اولیگاچات<sup>۶</sup> می‌نامند. مهم‌ترین مشکل کاربرد این نوع کرمها ایجاد شرایط مناسب برای رشد و تکثیر آنها و نیز غیر قابل کنترل بودن میزان رشد و تکثیر آنها در بعضی از انواع آنها است [۱۷].

زمانی که کرمها از لجن تغذیه می‌کنند، به‌دلیل فرایند متابولیکی کرمها جرم خشک لجن کاهش می‌یابد و با فشردگی لخته‌های لجن از حجم آن کاسته می‌شود. در همان زمان جرم بیومس کرمی و غنی از پروتئین تولید می‌شود. برای تخمین میزان کاهش لجن توسط کرمها باید اثر هضم لجن با خودخوری به حداقل برسد. فاکتورهای مهم در تخمین کاهش لجن عبارت‌اند از نسبت کرم به لجن، هضم لجن با خودخوری در اثر افزایش سن لجن، غلظت اکسیژن و دما [۱۱]. از میزان کاهش لجن برحسب دانسیته کرمها طبق روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌شود

$$\mu = \frac{2.303(\log N - \log N_0)}{t - t_0} \quad (1)$$

$$\Delta VSS = N \cdot \Delta E \quad (2)$$

که در آن

$\mu$  ضریب رشد بیشینه ( $d^{-1}$ )،  $N_0$  و  $N$  تعداد کرمها در ابتدا و انتهای آزمایش،  $t_0$  زمان شروع و خاتمه آزمایش،  $\Delta E$  میزان کاهش لجن (میلی‌گرم در لیتر) و  $\Delta VSS$  تغییرات (میلی‌گرم در لیتر) در دوره آزمایش است.

در مطالعات انجام شده توسط الیسن و همکاران بر روی نمونه حاوی کرمهای نوع ال. واریگاتوس<sup>۷</sup> ۷۵ درصد کاهش TSS و در تحقیقات وینترز به‌کمک همین نوع کرم ۵۰ درصد کاهش TSS گزارش شده است [۱۲، ۱۸، ۱۹]. بویز و همکاران نیز به‌کمک همین نوع کرم به ۴۰ درصد کاهش TSS و سانگ و ژیافی به‌کمک کرمهای نوع آنولوسوما همپریچی به‌حداکثر نرخ کاهش برابر ۴۴۵ میلی‌گرم در لیتر در روز دست یافتند [۱۳ و ۱۴]. به‌طور خلاصه در تحقیقات مشخص شده که در نتیجه هضم لجن توسط کرمها، میزان مواد معلق (TSS) و شاخص حجمی لجن کاهش می‌یابد [۱۷].

هدف اصلی این تحقیق، بررسی قابلیت استفاده از کرمهای آبی

عمده‌ترین مشکل تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری، تولید انبوه لجن است که حتی به‌کمک فرایندهای با تولید کم لجن نیز نمی‌توان مانع آن شد. به‌طور متوسط در سراسر دنیا ۲۰ تا ۴۰ کیلوگرم لجن خشک به ازای هر نفر در سال تولید می‌شود. لجن خام حاصل از فرایندهای موجود، ترکیبی از ذرات جامد آلی و غیر آلی، آب (بیش از ۹۵ درصد)، مواد مغذی، مقدار کمی عناصر کمیاب و تعدادی از پاتوژن‌ها است. ترکیب اصلی لجن، میکروارگانیسم‌ها هستند که در ساختمانشان دارای سلول، غشاء و آب درون سلولی هستند. وجود این غشاها موجب شده تا حذف آب در عمل آبیگری لجن با موفقیت چندانی همراه نباشد. شکسته شدن غشاء سلولی علاوه بر کمک کردن به عمل حذف آب لجن، موجب شرکت مواد مغذی درون سلولی در عمل هضم لجن نیز می‌شود. حذف آب از لجن باعث افزایش راندمان تصفیه لجن، کاهش حجم آن و در نتیجه هزینه حمل و نقل و دفع آن می‌شود زیرا هزینه تصفیه و دفع لجن مازاد، حدود ۲۵ تا ۶۰ درصد کل هزینه بهره‌برداری یک تصفیه‌خانه است. بنابراین امروزه نیاز شدید به گسترش فناوری‌هایی در جهت کاهش تولید لجن مازاد تصفیه‌خانه‌ها و یا گزینه‌هایی برای دفع و نیز بازیافت ترکیبات ارزشمند و یا تولید انرژی از لجن مازاد احساس می‌شود.

کاهش لجن توسط انواع روشهای مکانیکی، شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی انجام می‌شود. از جمله راهکارهای کاهش حجم لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب که در دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است شامل استفاده از ازن و کلر، تصفیه شیمیایی - حرارتی، استفاده از امواج التراسونیک، استفاده از کرمها و ماهی‌های لجن‌خوار است می‌باشد [۱-۱۴]. از عمده‌ترین معایب این روشها مصرف انرژی بالا و کاربرد مواد شیمیایی است که در روشهای بیولوژیکی از جمله استفاده از کرمها این مشکل وجود ندارد.

کرمهای زمینی و آبی مختلفی در کاهش حجم لجن و نیز کاهش SVI و افزایش قابلیت ته‌نشینی لجن مؤثراند [۱۵]. کاهش لجن با استفاده از کرمهای زمینی یک روش متداول مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه است [۱۶]. نکته قابل ملاحظه در اعمال این روش محتوای آب موجود در لجن است که باید در حالت بهینه حدود ۸۰ درصد باشد. گزینه دوم استفاده از کرمهای آبی در کاهش حجم لجن است. این کرمها به‌طور طبیعی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب وجود دارند و لذا دیگر نیازی به تغلیظ لجن مانند استفاده از کرمهای زمینی نیست. کرمهای اخیر به دو دسته شناور و چسبنده تقسیم می‌شوند. نوع شناور اغلب در فاضلاب تصفیه‌خانه معلقند و نوع چسبنده عمدتاً در دیواره‌ها و سطوح یافت می‌شوند. عمده‌ترین

<sup>1</sup> Annelida

<sup>2</sup> Aeolosoma hemprichi

<sup>3</sup> A. Variegatum

<sup>4</sup> A. Tenebrarum

<sup>5</sup> Nais

<sup>6</sup> Oligochaete

<sup>7</sup> L.variegatus

از خانواده آنیلیدها که خود جزئی از زائدات تصفیه‌خانه فاضلاب هستند، در کاهش جرم و حجم لجن بود.

## ۲- روش تحقیق

این تحقیق در دو مرحله مجزا صورت گرفت. به این منظور لجن فعال مورد استفاده در آزمایش‌های ناپیوسته از خط برگشت لجن تصفیه‌خانه شهرک اکباتان تهران با سن لجن ۲۰ روز تهیه شد. در ابتدا برای آگاهی از شرایط زیستی مناسب برای تشکیل، رشد و افزایش جمعیت کرمها مقداری از لجن درون یک پایلوت ۲ لیتری با TSS اولیه ۱۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و sCOD معادل ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ریخته و برای مدت یک ماه بدون خوراک، تا حد اکسیژن محلول ۱ تا ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر هوادهی شد تا به حالت بیهوازی در نیاید. در این شرایط پس از گذشت ۱۰ روز به تدریج با تشکیل کرمهای قرمز رنگ در بستر لجن به صورت شناور و چسبیده، به مرور رنگ لجن به قرمز متمایل شد. البته نوع لجن و میزان پروتوزوآ (منبع غذایی مهم کرمها) در لجن تاثیر مثبتی در تشکیل این نوع کرمها دارد به طوری که لجن مرده و غیر فعال که حاوی پروتوزوآ نباشد، هرگز مستعد تشکیل کرمها نیست. بنابراین پس از آگاهی از شرایط زیستی مناسب برای رشد و تکثیر کرمها در مرحله اول با ایجاد بستر مناسب، میزان رشد و تکثیر کرمها و تغییرات sCOD و TSS مورد بررسی قرار گرفت؛ به این ترتیب که ابتدا محتویات پایلوت تا حدود ۲ گرم در لیتر و حجم کل نمونه به ۲۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس تا رسیدن اکسیژن محلول به حدود ۱ تا ۲ میلی‌گرم در لیتر هوادهی صورت گرفت.

در مرحله دوم تحقیق با افزایش غلظت TSS نمونه تا حد ۳ تا ۴ گرم در لیتر و افزایش DO در محدوده ۲ تا ۳ میلی‌گرم در لیتر در حجم ۲ لیتر، تغییرات VSS، TSS و sCOD در شرایط جدید بررسی شد [۱۱ و ۱۸]. در این تحقیق برای تأثیر DO در کاهش VSS و در نتیجه TSS درون ظرف ارلن مایر به حجم مفید ۲۵۰ میلی‌لیتر، شرایطی مشابه ایجاد شد و با قرار دادن یک نمونه شاهد، محتوی لجن استریل بدون کرم (استریل کردن لجن با استفاده از اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه) همزمان با نمونه حاوی کرمها تحت شرایط غلظت و هوادهی مشابه تغییرات VSS، TSS و تأثیر DO در مقایسه با راکتور شاهد مورد بررسی قرار گرفت و سپس خطای حاصل از پارامتر DO در کاهش جرم لجن در مرحله دوم تعیین شد. نکته قابل ذکر اینکه با توجه به تغذیه بعضی از گونه‌های چسبنده از لجن ته‌نشین شده، باید یک لایه از لجن در انتهای ظرف وجود داشته باشد و بر روی آن یک لایه از مایع شناور قرار گیرد، بنابراین هوادهی به صورتی بود که اختلاط کامل لجن با مایع روی آن صورت نپذیرد و فقط اختلاط آرام لجن

و کرمها در اعماق ظرف انجام شود. هر روز با شمارش کرمها میزان TSS و VSS و نیز sCOD در مورد هر دو نمونه حاوی کرم و بدون کرم اندازه‌گیری می‌شد. به این ترتیب که با برداشت ۱۰ تا ۲۰ نمونه ۱۰ میلی‌لیتری، تعداد کرمهای درون هر نمونه به وسیله دستگاه کلنی کانتیر تعیین و میانگین داده‌ها به کمک نرم افزار متلب برآورد و به کل حجم تعمیم داده می‌شد. نکته قابل ذکر اینکه به دلیل احتمال بروز خطا در آزمایش‌های TSS و VSS در نمونه‌های محتوی کرم و از آنجا که جدا کردن کرمها نیز به دلیل ریز بودن بسیار مشکل بود، چندین آزمایش با جدا کردن حدود ۲۰ تا ۳۰ کرم و شستشوی آنها با آب مقطر و عبور آن از کاغذ صافی این آزمایش‌ها صورت گرفت و میانگین اعداد حاصل از تکرار آزمایش‌ها، به عنوان خطای آزمایش در نتایج TSS و VSS کسر می‌شد.

نکته مهم اینکه در کلیه مراحل تحقیق، شرایط محیطی  $pH=7-8$  و دمای ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس حاکم بود و هوا توسط پمپ (همراه با لوله های PVC با قطر ۴ میلی‌متر) به پایلوت‌ها تزریق می‌شد. همچنین پارامترها مطابق کتاب روشهای استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب با سه بار تکرار اندازه‌گیری شد. اسپکتروفتومتر لمپادا مدل پرکین المیر<sup>۱</sup>، ترازوی دیجیتالی متلر<sup>۲</sup>، COD راکتور دیجیتالی هچ<sup>۳</sup>، کلنی کانتیر دیجیتالی طب آزما، اکسیژن متر کریسون<sup>۴</sup>، کوره دمرو<sup>۵</sup>، آون استیل دیجیتالی آرا طب فن از جمله تجهیزات مورد استفاده بودند.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- بررسی نحوه تغییرات TSS و sCOD در مرحله تشکیل کرمها

در مرحله اول تحقیق، ابتدا میزان تغییرات روزانه TSS و sCOD در مدت زمان ۳۰ روز بدون وجود کرم اولیه و بدون خوراک دهی به سیستم مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱). همانطور که ملاحظه می‌شود به دلیل عدم خوراک دهی در اثر هوادهی با تنفس داخلی میکروارگانیسم‌ها و وارد شدن آنها به فاز خودخوری، کاهش محتوی TSS و sCOD نمونه اتفاق می‌افتد، به گونه‌ای که در این مدت حدود ۲۵ درصد کاهش TSS و حدود ۶۰ درصد حذف sCOD اتفاق افتاد. در این شرایط به تدریج کرمها در نمونه تشکیل و شروع به رشد و تکثیر کردند، به طوری که تعداد آنها از ۷۶۵ عدد در روز هشتم به ۲۸۰۰ عدد در روز آخر رسید و طبق مشاهدات صورت گرفته، رنگ محلول به تدریج از روز هشتم تغییر یافت.

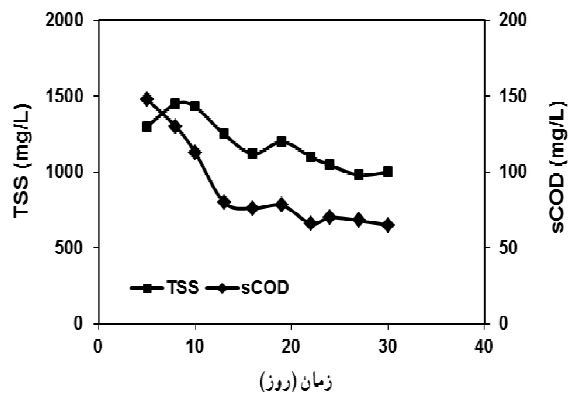
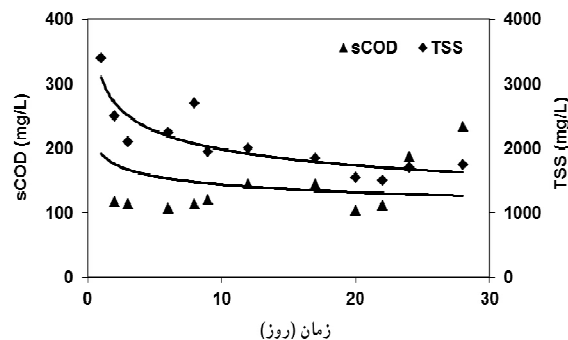
<sup>1</sup> Perkin Elmer / Lambda EZ 150

<sup>2</sup> Metler PJ300

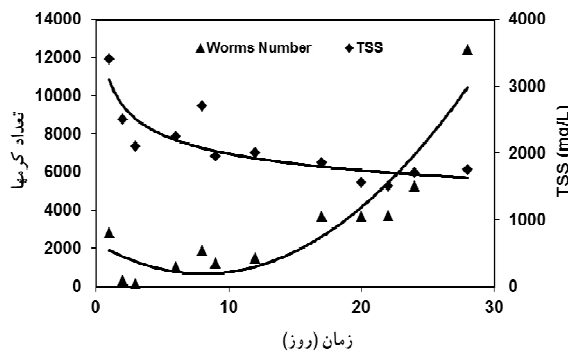
<sup>3</sup> Hach DRB 200

<sup>4</sup> Crison OXI 45

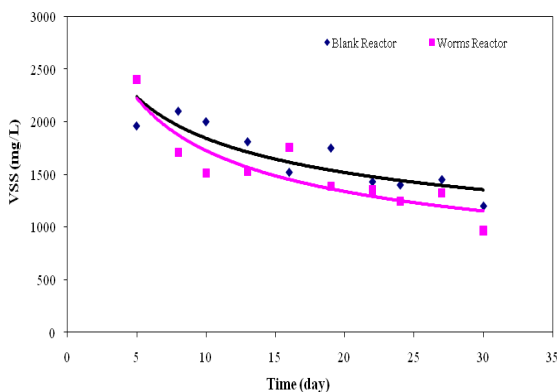
<sup>5</sup> Demero F.69



شکل ۱- روند تغییرات TSS و sCOD در مرحله تشکیل کرمها



شکل ۲- روند تغییرات TSS ، sCOD و جمعیت کرمها در مرحله تکثیر



شکل ۳- تغییرات VSS در مدت زمان ۳۰ روز در راکتور شاهد و راکتور حاوی کرمها

همانگونه که مشاهده می‌شود مقدار VSS در ظرف شاهد از ۱۰۳۰ میلی‌گرم در لیتر در ابتدای آزمایش‌ها به ۷۸۰ میلی‌گرم در لیتر (حدود ۲۴ درصد کاهش) در پایان آزمایش‌ها رسیده است که در مورد TSS معادل ۲۵ درصد بوده است (البته در راکتور شاهد برای جلوگیری از ایجاد شرایط بیهوازی میزان هوادهی اندکی بیشتر بود). این در حالی است که در راکتور حاوی کرمها، VSS از مقدار ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ابتدای آزمایش‌ها به ۱۲۲۰ میلی‌گرم در لیتر در پایان آزمایش‌ها رسید، یعنی حدود ۴۰ درصد کاهش در این حالت مشاهده شد. با کسر این مقدار از نتیجه راکتور شاهد می‌توان نتیجه گرفت که کرمها موجب هضم حدود ۱۵ درصد VSS در این مدت شده‌اند.

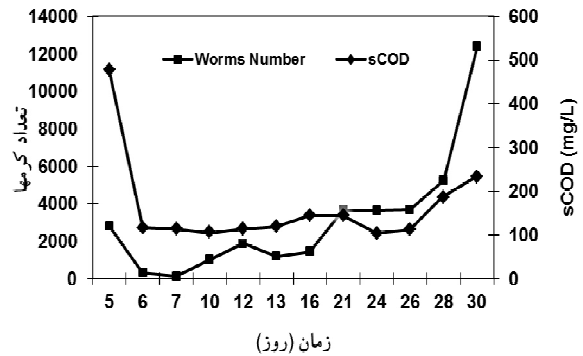
### ۲-۳- بررسی نحوه تغییرات TSS ، VSS و sCOD در مرحله تکثیر کرمها

در مرحله دوم با افزایش TSS نمونه تا حدود سه برابر (۳۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، در حضور کرمها و با خوراک‌دهی بسیار کم، تغییرات روزانه پارامترها و تکثیر کرمها مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۲ ارائه شده است. در این مدت با کاهش روزانه TSS حداکثر کاهش ۴۰ درصد مشاهده شد، البته در اندازه‌گیری TSS به دلیل ریز بودن کرمها و عدم امکان جداسازی آنها از نمونه‌ها، همواره مقداری خطا وارد می‌شد که همانطور که در بخش روش تحقیق اشاره شد، برای به حداقل رساندن خطا همواره تعداد ۲۰ تا ۳۰ عدد از کرمها از نمونه جدا و با آب مقطر شستشو می‌شد سپس میزان خطای وزن کرمها، محاسبه و از عدد به دست آمده در اندازه‌گیری TSS کسر می‌گردید. در این بخش با رشد نوسانی کرمها که در روزهای پایانی در شرایطی که غلظت sCOD و VSS به ترتیب برابر ۲۳۵ و ۱۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود، به حداکثر ۱۲۴۰۰ عدد رسید.

همچنین بررسی روند تغییرات sCOD و جمعیت کرمها نشان می‌دهد که هر زمان که تعداد کرمها افزایش یافته، sCOD نیز زیاد شده ولی به طور کلی در انتهای آزمایش‌ها کاهش sCOD نسبت به مقدار اولیه آن به دلیل هوادهی جزئی نمونه‌ها وجود داشته است، به گونه‌ای که با افزایش ۷۷/۴ درصدی در تعداد کرمها حدود ۵۱ درصد کاهش sCOD نسبت به مقدار اولیه آن مشاهده شد. در مدت ۳۰ روز انجام آزمایش‌ها در حالتی که تعداد کرمها به حدود ۶ عدد در میلی‌لیتر رسید، معادل ۲۶ میلی‌گرم در لیتر در روز کاهش VSS و ۴۰ درصد کاهش TSS مشاهده شد. به موازات این مرحله با ایجاد شرایط آزمایشگاهی مشابه در حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر، میزان تغییرات VSS در نمونه مذکور و شاهد تحت شرایط یکسان بررسی شد. شکل ۳، تغییرات VSS را در این مرحله نشان می‌دهد.

### ۳-۳- بررسی نحوه تغییرات تعداد کرمها

در شکل ۴ و جدول ۱، یک نمونه از نمودارهای آماری که متوسط داده‌ها را طی ۸ روز شمارش نشان می‌دهد، ارائه شده است. نحوه تغییرات تعداد کرمها در طی یک دوره ۶۰ روزه به‌عنوان نمونه در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل ۴- تعیین متوسط تعداد کرمها در روز

### ۴-۳- تعیین میزان کاهش جرم لجن

مطابق رابطه ۲ برای محاسبه میزان کاهش لجن از تغییرات VSS برای مرحله ۲ تحقیق به‌صورت زیر استفاده شد

$$\Delta VSS = N \cdot \Delta E$$

$$N = 12400 / 2000 = 6.2 \text{ (میلی لیتر / عدد)}$$

$$\Delta VSS = 2000 - 1220 = 780 \text{ (mg/L)}$$

$$\Delta E = 780 / 6.2 = 0.126 \text{ (mg)}$$

یعنی کاهش جرم لجن در این آزمایش حدود ۰/۱۲۶ میلی‌گرم به ازای هر گرم بوده است. به عبارتی هر گرم به‌طور تقریبی حدود ۰/۱۲۶ میلی‌گرم از لجن موجود را که حاوی ۰/۲ درصد TS بوده

هضم کرده است. البته باید در نظر داشت در این رابطه فرض بر این است که هر میزان VSS که طی دوره آزمایش کاهش می‌یابد مستقیماً توسط کرمها مصرف می‌شود. اگر این رابطه تجربی مبنای محاسبات قرار گیرد در این صورت با در نظر گرفتن دانسیته برابر ۱/۰۰۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای لجن، می‌توان کاهش حجم لجن را محاسبه نمود

$$\Delta V = 126 \times 10^{-6} \times 12400 / (1.005 \times 0.2 \times 10^{-2}) = 777.3 \text{ (cm}^3\text{)} \quad (۴)$$

با توجه به اینکه حجم لجن در نمونه رقیق شده برابر ۲۰۰۰ میلی‌لیتر بود، میزان کاهش حجم لجن در مدت ۳۰ روز آزمایش برابر حدوداً ۳۹ درصد محاسبه می‌شود. حال اگر مبنای محاسبات کاهش ۴۰ درصدی TSS در نظر گرفته شود در این صورت در مقایسه با راکتور شاهد ۱۵ درصد از این مقدار مربوط به حضور کرمها است بنابراین

$$\Delta TSS = 2850 - 1750 = 1100 \text{ (mg/L)}$$

$$\Delta m = 1100 \times 15 / 40 \times 2 \text{ (L)} = 825 \text{ (mg)} \quad (۵)$$

$$\Delta V = 825 \times 10^{-3} / (1.005 \times 0.2 \times 10^{-2}) = 410 \text{ (cm}^3\text{)}$$

در این صورت حدود ۲۰ درصد کاهش حجم لجن محاسبه می‌شود. به نظر می‌رسد این روش در محاسبه میزان کاهش حجم لجن به‌کمک کرمها به‌دلیل در نظر گرفتن سایر پارامترهای دخیل در کاهش TSS (غیر از کرمها) روش مناسب‌تری باشد. ضریب رشد کرمها نیز طبق رابطه ۱ برابر است با

$$\mu = 2.303 (\text{Log}12390 - \text{Log}2805) / (30 - 0) = 0.05 \text{ d}^{-1} \quad (۶)$$

در سایر مطالعات مشابهی که در این زمینه انجام شد، الیسن و همکاران طی آزمایش‌های انجام شده بر نمونه حاوی TSS معادل

جدول ۱- نتایج آماری به‌منظور تعیین متوسط تعداد کرمها در روز

| دسته ۶               | دسته ۵               | دسته ۴                | دسته ۳               | دسته ۲               | دسته ۱               |                         |
|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| ۴                    | ۴                    | ۴                     | ۴                    | ۳                    | ۳                    | N Valid                 |
| ۱۸                   | ۱۸                   | ۱۸                    | ۱۸                   | ۱۹                   | ۱۹                   | N Missing               |
| ۷/۷۴×۱۰ <sup>۲</sup> | ۲/۵۴×۱۰ <sup>۲</sup> | ۱/۵۶×۱۰ <sup>۲</sup>  | ۲/۷۲×۱۰ <sup>۲</sup> | ۳/۳۹×۱۰ <sup>۲</sup> | ۵۹۱/۶۷               | میانگین                 |
| ۱/۷۲×۱۰ <sup>۲</sup> | ۳/۹۱×۱۰ <sup>۲</sup> | ۴/۱۷×۱۰ <sup>۲</sup>  | ۲/۹۴×۱۰ <sup>۲</sup> | ۱/۶۷×۱۰ <sup>۲</sup> | ۱/۲×۱۰ <sup>۲</sup>  | خطای استاندارد میانگین  |
| ۳/۴۴×۱۰ <sup>۲</sup> | ۷/۸۲×۱۰ <sup>۲</sup> | ۸/۳۵×۱۰ <sup>۲</sup>  | ۵/۸۹×۱۰ <sup>۲</sup> | ۲/۸۸×۱۰ <sup>۲</sup> | ۲/۰۸×۱۰ <sup>۲</sup> | انحراف از معیار         |
| ۱/۱۸×۱۰ <sup>۲</sup> | ۶/۱۱×۱۰ <sup>۰</sup> | ۶/۹۷۸×۱۰ <sup>۰</sup> | ۳/۴۷×۱۰ <sup>۰</sup> | ۸/۳۰×۱۰ <sup>۲</sup> | ۴/۳۵×۱۰ <sup>۲</sup> | واریانس                 |
| ۱/۰۰۸                | ۱/۴۹                 | ۱/۸۸                  | ۱/۹۲                 | -۰/۹۱                | -۱/۱۶                | چولگی                   |
| ۱/۰۱                 | ۱/۰۱                 | ۱/۰۱                  | ۱/۰۱                 | ۱/۲۲                 | ۱/۲۲                 | خطای استاندارد چولگی    |
| ۷۷۴/۰۰               | ۱۷۸۳/۰۰              | ۱۷۸۵/۰۰               | ۱۲۶۱/۰۰              | ۵۶۶۳/۰۰              | ۴۰۵/۰۰               | محدوده                  |
| ۴۶۵۰/۰۰              | ۱۸۸۷/۰۰              | ۱۰۲۰/۰۰               | ۲۳۴۰/۰۰              | ۲۵۲/۰۰               | ۳۰۶/۰۰               | کمینه                   |
| ۱۲۳۹۰/۰۰             | ۳۶۷۰/۰۰              | ۲۸۰۵/۰۰               | ۳۶۰۱/۰۰              | ۵۹۱۶/۰۰              | ۷۶۵/۰۰               | بیشینه                  |
| ۰/۰۸                 | ۲/۴۴                 | ۳/۵۹                  | ۳/۷۵                 |                      |                      | کورتوسیس                |
| ۲/۶۱۹                | ۲/۶۱                 | ۲/۶۱                  | ۲/۶۱                 |                      |                      | خطای استاندارد کورتوسیس |

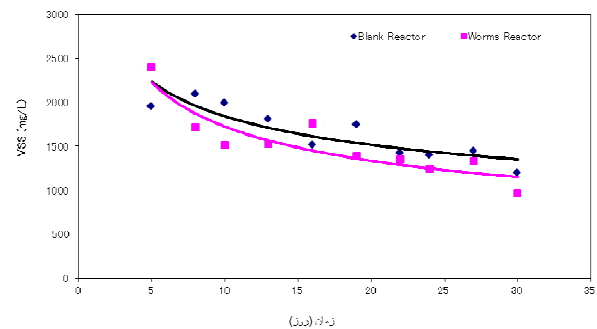
فاضلاب می‌باشند، مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج حاصل با حضور کرمها با ضریب رشد ۰/۰۵ بر روز، روند کاهش VSS معادل ۲۶ میلی‌گرم در لیتر در روز، کاهش TSS معادل ۴۰ درصد و کاهش حجم لجن حداقل ۲۰ درصد مشاهده شد. همچنین تحت شرایط ذکر شده در آزمایش‌ها حدود ۵۰ درصد حذف sCOD نیز مشاهده شد.



شکل ۶- کرمهای تشکیل شده در لجن مورد بررسی

اگر روش کاربرد کرمها در آبیگری لجن به صورت وسیع تر و تخصصی تر مورد توجه و مطالعه قرار گیرد و شرایط زیستی و چگونگی تشکیل این نوع کرمها مشخص شود، روش مناسب و کم هزینه‌ای خواهد بود به خصوص که لجن به جا مانده غنی از پروتئین و مرغوب برای فعالیتهای کشاورزی است. زیرا با توجه به کم بودن انرژی مصرفی، هزینه بهره‌برداری و عدم نیاز به تغلیظ لجن و نیز عدم تولید ترکیبات شیمیایی و راندمان نسبتاً مطلوب کاهش حجم لجن می‌توان تا حدودی از مشکلات بهره‌برداری و نگهداری زیاد آن صرف نظر کرد. ولی در حال حاضر با شناخت محدود و تردید آمیز نسبت به این نوع کرمها و مشکلات فراوانی که در تشکیل و کنترل رشد و تکثیر آنها وجود دارد، کاربرد آنها خیلی متداول نشده و در مراحل اولیه تحقیق است.

۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر با استفاده از کرمهای نوع *ال. وارینگاتوس* و به کمک مدیای معلق برای نگه داشتن کرمها، در حالتی که تراکم کرمها حداکثر به ۱۰۵ عدد در متر مربع رسید، به حدود ۷۵ درصد کاهش TSS دست یافتند در حالیکه وینترز به کمک همین نوع کرم و بدون مدیای نگهداری کرم به حداکثر ۵۰ درصد کاهش TSS دست یافت [۱۱ و ۱۲]. بویز و همکاران نیز به کمک همین نوع کرم در مدت زمان ۵۲ روز آزمایش در نمونه حاوی TSS معادل ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و با اکسیژن رسانی تا ۴ میلی‌گرم در لیتر به ۴۰ درصد کاهش TSS که تبدیل به مدفوع کرمی شده بود، دست یافتند [۱۳]. سانگ و ژیاپی در نمونه حاوی VSS معادل ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به کمک کرمهای نوع *آتولوسوما همپریچی* در حالتی که تعداد کرمها به ۳۱۵ عدد در میلی‌لیتر رسید، حداکثر نرخ کاهش برابر ۴۴۵ میلی‌گرم در لیتر در روز را گزارش کرده‌اند [۱۴].



شکل ۵- تغییرات تعداد کرمها

### ۳-۵- بررسی نوع کرمهای تشکیل شده

شکل ۶ تصویر کرمهای تشکیل شده را نشان می‌دهد. با بررسی میکروسکوپی و از ظاهر حلقوی این نوع کرمها مشخص شد که از خانواده *آنیلیدا* هستند و از دنباله‌های چند شاخه بعضی از آنها مشخص شد که نوع تکثیر برخی از این نوع به صورت غیر جنسی و از طریق دنباله‌هایشان است. ظاهر، رنگ، ویژگی و شرایط زیستی این نوع کرمها در مقایسه با انواع کرمهای فاضلاب، مطابقت زیادی با کرمهای توبیفکس داشت.

### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با ایجاد شرایط زیستی مطلوب، رشد و تکثیر کرمهای نوع توبیفکس در بستر لجن که نوع متداول کرم در تصفیه‌خانه

### ۵- مراجع

- 1- Bukuru, G., and Jian, Y. (2005) "Synchronous Municipal Sewerage-Sludge Stabilization." *J. of Environmental Sciences*, 17 (1), 59-61.

- 2- Buys, B.R., Klapwijk, A., Elissen H., and Rulkens, W.H. (2008). "Development of a test method to assess the sludge reduction potential of aquatic organisms in activated sludge." *Bioresource Technology*, 99 (17), 8360-8366.
- 3- Elissen, H.J.H. (2007). "Sludge reduction by aquatic worms in wastewater treatment with emphasis on the potential application of lumbriculus variegatus." Ph.D. Thesis, Wageningen University, Netherlands.
- 4- Elissen, H.J.H., Hendrickx, T.L.G., Temmink, B.G., and Buisman, C.J.N. (2006). "A new reactor concept for sludge reduction using aquatic worms." *Water Research*, 40(20), 3713 - 3718
- 5- Elissen, H.J.H., Mulder, W.J., Hendrickx, T.L.G., Elbersen, H.W., Beelen, B., Temmink, H., and Buisman, C.J.N. (2010). "Aquatic worms grown on biosolids: Biomass composition and potential applications." *Bioresource Technology*, 101, 804-811.
- 6- Hendrickx, T.L.G., Temmink, H., Elissen, H.J.H., and Buisman, C.J.N. (2009). "Aquatic worms eating waste sludge in a continuous system." *Bioresource Technology*, 100 (20), 4642-4648.
- 7- Hendrickx, T.L.G., Temmink, H., Elissen, H.J.H., and Buisman, C.J.N. (2009). "The effect of operating conditions on aquatic worms eating waste sludge." *Water Research*, 43 (4), 943-950.
- 8- Kamiya T., and Hirotsuji, J. (1998). "New combined system of biological process and intermittent ozonation for advanced wastewater treatment." *Water Sci. Technol.*, 38, 145-53.
- 9- Moussavi, G., Asilian H., and Jamal, A. (2008). "Effect of ozonation on reduction of volume and mass of waste activated sludge." *J. of Applied Sciences Research*, 4(2), 122-127.
- 10- Neyens, E., and Baeyens, J. (2003). "A review of thermal sludge pre-treatment processes to improve dewaterability." *J. of Hazardous Materials*, 98, 51-67.
- 11- Rai, C.L., Stuenkelmann, G., Mueller, J., and Rao, G.P. (2004). "Influence of ultrasonic disintegration on sludge growth reduction and its estimation by respirometry." *Environ. Sci. Technol.*, 38, 5779-5785.
- 12- Ratsak, C.H., and Verkuijlen, J. (2006). "Sludge reduction by predatory activity of aquatic oligochaetes in wastewater treatment plants: Science or fiction? A review." *Hydrobiologia*, 564, 197-211.
- 13- Riedel, Jr., and David, J. (2009). "An investigation into the mechanisms of sludge reduction technologies." M.Sc. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.
- 14- Seungmin, N., Young-Uk, K., and Jeehyeong, K. (2006). "Physiochemical properties of digested sewage sludge with ultrasonic treatment." *Ultrasonic Sono-chemistry*, 14, 281-285.
- 15- Song, B., and Xiaofei, C. (2009). "Effect of aeolosoma hemprichi on excess activated sludge reduction." *J. of Hazardous Materials*, 162 (1), 300-304.
- 16- Vlyssides, A.G., and Karlis, P.K. (2004). "Thermal-alkalin solubilization of waste activated sludge as a Pre-treatment stage for anaerobic digestion." *J. Bioresource Technology*, 91, 201-206.
- 17- Winters, R.O. (2004). *Substantial reduction of organic waste streams using the natural food chain*, Public Rep. 235, Agro-technology and Food Innovations B.V., 18 p, The Netherlands.
- 18- Zhang, G., Zhang, P., Yang J., and Chen, Y. (2007). "Ultrasonic reduction of excess sludge from the activated sludge system." *J. Hazard. Mater.*, 3, 515-519.
- 19- Zhu, M., Guo, M., Du, S., and Song, Y. (2011). "Sludge reduction induced by aquatic worms in SBR wastewater treatment system." *International Symposium on Water Resource and Environmental Protection (ISWREP)*, Xi'an, China, 1368-1371.