بررسی تغییرات جامدات در راکتور جریان پیوسته ورمی کمپوست-کمپوست بر روی لجن تصفیه خانه فاضلاب با و یا بدون وجود پسماندهای آلی دیگر

مجتبی خوارزمی[1]، دانش آموخته مهندسی عمران-محیط زیست، دانشگاه شیراز، ایران

ناصر طالب بیدختی[2]، استاد بخش مهندسی راه ساختمان و محیط زیست، دانشگاه شیراز، ایران

واژه های کلیدی: لجن تصفیه خانه فاضلاب، پسماندهای آلی، ورمی کمپوست، کمپوست، راکتور پیوسته، تغییرات جامدات

چکیده

سیستم ورمی کمپوست-کمپوست میتواند جایگزینی برای سیستمهای متداول تثبیت لجن در تصفیه خانه های فاضلاب باشد. اندازه گیری جامدات در این نوع سیستم نشان دهنده کارکرد درست راکتور است، لذا بررسی این تغییرات از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این تحقیق ابتدا لجن مازاد آبگیری شده در تصفیه خانه فاضلاب شیراز با دیگر پسماندهای آلی در تعداد 5 راکتور از نوع جریان ناپیوسته مخلوط و مورد بررسی قرار گرفت. مدت اجرای هر یک از پایلوتها 2 ماه و تغییرات جامدات این مواد در هر 2 هفته اندازه گیری شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، لجن آبگیری شده به تنهایی، برای پایلوت بعدی که از نوع راکتور با جریان پیوسته است انتخاب شد. این راکتور شامل 3 سلول است و به صورتی اجرا شده است که جریان پیوسته به وسیله حرکت کرمها به وجود می آید. در این راکتور بعد از اتمام پروسه ورمی کمپوست، فاز کمپوست گرمادوست شروع می شود و پروسه تثبیت لجن در این فاز ادامه پیدا میکند. زمان اجرای این پایلوت 4 ماه است و تغییرات جامدات لجن در هر 2 هفته اندازه گیری شده است. تغییرات جامدات در هر دو نوع راکتور اندازه گیری شده و در آخر مدل ریاضی برای هر کدام محاسبه و تعیین گردید.

[1] Mojtaba.kharazmi@gmail.com
[2] Taleb@shirazu.ac.ir

1- مقدمه

در سراسر جهان هر جا که تصفیه فاضلابهای شهری به صورت متمرکز انجام می شود، محصول جانبی آن شامل جامدات باقیمانده یا لجن خواهد بود. با افزایش توجه جهانی به حفاظت محیط زیست (از جمله حفظ آبهای سطحی و زیر زمینی و خاک)، استانداردهای پساب خروجی تصفیه خانه های فاضلاب سختگیرانه تر شده است. لذا انتظار آن وجود دارد که با پیشرفت توسعه زیر بنایی در کشورهای در حال توسعه همراه با سختگیرتر شدن استانداردهای زیست محیطی، تصفیه فاضلاب فراگیرتر و به تبع آن مقدار تولید لجن حاصل از تصفیه فاضلاب به صورت روز افزون بیشتر شود. افزایش فزاینده جمعیت و در پی آن بیشتر شدن مقدار فاضلابهای تولیدی و لجن نیز به این موضوع دامن خواهد زد. بنا به دلایل گفته شده، امروز مدیریت لجن به پدیده ای بسیار مهم و بحث بر انگیز در کشورهای جهان تبدیل شده و روز به روز بر اهمیت آن افزوده می شود [2]. از طرف دیگر، لجن حاصل از تصفیه فاضلاب، به علت داشتن عناصری مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و غیره می تواند به عنوان کود یا اصلاح‌کنندهٔ خاکه ای کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد[1]. با توجه به محدودیت دسترسی به نیروهای متخصص در زمینه مدیریت و راهبری سیستمهای تصفیه لجن، به ویژه در روشهای متداول نظیر هاضمها و تأسیسات مکانیکی آبگیری لجن، استفاده از روشهای ساده، کم هزینه و سازگار با محیط زیست، همچون سیستمهای ورمی کمپوست و کمپوست، به ویژه در کشورهای در حال توسعه به علت نیاز کمتر به نیروی متخصص و تجهیزات پیشرفته، از اولویت بیشتری برخوردار خواهد بود [3].

کاربرد کرمهای خاکی برای مدیریت لجن مورد توجه زیادی بوده و برنامه‌های تحقیقاتی و پروژه‌های تجاری متعددی در بسیاری از کشورهای جهان در مورد آن به مرحله اجرا در آمده است. این تکنولوژی میتواند جایگزین بسیار خوبی برای سیستمهای متداول تثبیت لجن باشد. واژه (فرایند) Vermi از لغت Vermis به معنی کرم گرفته شده و حاصل فرایندی نیمه هوازی (با حدود 80 درصد رطوبت) است که به وسیلهٔ گونه‌های ویژه‌ای از کرمها، قارچها، باکتریها و آکتینومیستها انجام می‌شود [4]. عبور آرام، پیوسته و مکرر مواد زاید آلی از مسیر دستگاه گوارشی کرم خاکی و آغشته شدن آنها به انواع ترشحات سیستم گوارشی، مانند ذرات کربنات کلسیم، آنزیمها و مواد مخاطی، متابولیتهای مختلف میکرو ارگانیسمهای دستگاه گوارشی کرم و سرانجام ایجاد شرایط مناسب برای سنتز اسیدهای هیومیک، در مجموع موادی به نام ورمی کمپوست تولید می‌کند که ویژگیهای متفاوت با مواد بلعیده شده توسط کرمها دارند [5]. کمپوست از کلمهٔ لاتین «Compositus» به معنی مخلوط و یا مرکب گرفته شده است. تجزیهٔ مواد در تودهٔ کمپوست، نتیجهٔ فعالیت بسیاری از گروه‌های مختلف باکتری‌ها، قارچ‌ها، آکتینومیست‌ها، پروتوزوآها و سایر موجودات‌ریزی هستند که در مواد آلی وجود دارند. در نتیجه این فعالیت علاوه بر محصول نهایی که کمپوست نام دارد حرارت و آب نیز تولید میگردد.

قسمت اعظم کمپوست و ورمی کمپوست را جامدات تشکیل می دهد. فعالیت کرمها در کمپوست کرمی و میکرو ارگانیزمها در کمپوست باعث به وجود آمدن تغییراتی در میزان جامدات موجود در مواد میشود. محصول نهایی باید به مواد هوموس مانندی تبدیل شود که دیگر قادر به تجزیه نیست [6]. بنابراین اندازه گیری تغییرات جامدات در هر دو سیستم ورمی کمپوست و کمپوست نشان دهنده کارکرد درست یا نادرست سیستم است و جزء ضروری این سیستمها است.

در این تحقیق لجن مازاد تصفیه خانه فاضلاب شیراز در هر دو سیستم ورمی کمپوست و کمپوست مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است. تصفیه خانه فاضلاب شهر شیراز در 29 درجه و 32 دقیقه و 37 ثانیه شمالی و 52 درجه و 38 دقیقه و 14 ثانیه شرقی واقع شده است و کد ارتفاعی این مکان 1478 متر بالا تر از سطح آبهای آزاد است. بر اساس طرح اولیه این تصفیه خانه شامل سه مدول 300000 نفری بوده که در حال حاضر مدول اول آن در حال کار است. مشخصات فاضلاب ورودی و خروجی تصفیه خانه فاضلاب شیراز از قرار زیر است:

فاضلاب ورودی:

غلظت BOD_5 فاضلاب : 240 میلیگرم در لیتر

غلظت مواد معلق: 315 میلیگرم در لیتر

فاضلاب خروجی:

غلظت BOD_5 فاضلاب : 30 میلیگرم در لیتر

غلظت مواد معلق: 40 میلیگرم در لیتر

در این تصفیه خانه سیستم هوادهی به صورت هوادهی مکانیکی است و تصفیه فاضلاب فاقد مراحل حذف نیتروژن و فسفر است. لجن مازاد تولیدی بعد از واحدهای Thickener و Blender در بسترهای لجن خشک وارد شده و در مقابل نور خورشید خشک میشود. اما اخیراً قسمت اعظم لجن مازاد در واحد هاضم بیهوازی تصفیه و تثبیت میشود.

2- روش تحقیق

2-1- آماده سازی پایلوت

ابتدا پایلوتهای اولیه که از نوع راکتور با جریان ناپیوسته (Batch reactor) راه اندازی و آماده میشوند. تعداد این پایلوتها 5 عدد است. هر کدام از این پایلوتها به مقدار وزنی مختلف از پسماندهای غذایی، پسماندهای گیاهی ، کود حیوانی و لجن تصفیه خانه پر می شوند. به هر کدام از پایلوتها مقدار 400 گرم کرم افزوده میشود. در این تحقیق مقدار چگالی کرم در واحد حجم در هر پایلوت یکسان محاسبه و آماده شده است. مقدار ظرفیت فراوری 0.75 کیلوگرم ماده/کیلوگرم کرم/ روز فرض شده است. زمان اجرای هر پایلوت 2 ماه است و نمونه برداری و آزمایش بر روی پارامترهای مورد نظر در بازه های زمانی 2 هفته انجام گرفته است. مشخصات پایلوت اولیه در جدول (1) آورده شده است.

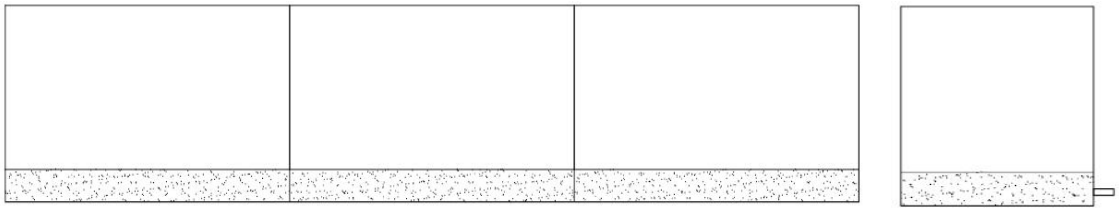
جدول 1- مشخصات پایلوت اولیه

شماره پایلوت اولیه	مواد داخلی پایلوت	ابعاد (cm)	چگالی کرم (kgکرم/kgماده)	ظرفیت فراوری (kgماده/kgکرم*روز)
پایلوت 1	لجن	40*40*40	0.004	0.75
پایلوت 2	لجن + کود حیوانی	40*40*40	0.004	0.75
پایلوت 3	لجن + پسماند غذایی	40*40*40	0.004	0.75
پایلوت 4	لجن + پسماند گیاهی	40*40*40	0.004	0.75
پایلوت 5	پسماند گیاهی + پسماند غذایی + کود حیوانی	40*40*40	0.004	0.75

موازی با راهبری و اجرای پایلوتهای اولیه، تعداد 5 عدد پایلوت کوچکتر(10*10*10 cm) برای اندازه گیری پارامترهای آزمایشگاهی مربوط به کرمها راه اندازی می شود. برای مطالعه بر روی رفتار کرمها و تغییرات جامدات آنها، تعداد 10 عدد کرم نابالغ در هر یک از پایلوتها ریخته میشود. مواد داخلی این پایلوتها مطابق با مواد داخلی پایلوتهای اولیه است. زمان راهبری در این پایلوتها 2 ماه است و هر 2 هفته اقدام به اندازه گیری پارامترهای مربوطه میشود. این پایلوتها با نام پایلوتهای جانبی نام گذاری میگردند.

با راه اندازی پایلوت دوم (50*50*150 cm) به نام پایلوت ثانویه، اقدام به انجام آزمایشات تکمیلی برای بررسی چگونگی کارکرد سیستم تلفیقی ورمی کمپوست- کمپوست و مطالعه نوع رفتار کرمها در این نوع خاص از سیستم و مقایسه خروجی با سیستم ورمی کمپوست و پی بردن به حالت بهینه تولید کمپوست می گردد. این پایلوت از سه سلول تشکیل شده است که امکان

مطالعه بر روی چگونگی به وجود آمدن جریان پیوسته را میدهد. در این پایلوت دو سیستم ورمی کمپوست و کمپوست با هم به صورت موازی کار می کند. شکل (1) نمای این پایلوت و سه سلول آن را نشان میدهد.



شکل 1 - نمای عرضی پایلوت پیوسته(سمت راست)، نمای طولی پایلوت پیوسته(سمت چپ)

2-2- آزمایشات مربوطه

جهت نمونه برداری از تمامی پایلوتها، هر پایلوت به 8 قسمت مساوی تقسیم بندی شده و از هر قسمت نمونه ای برداشته میشود. سپس این 8 نمونه با هم مخلوط گشته و نمونه نهایی جهت اندازه گیری پارامترهای مربوطه از این مخلوط گرفته میشود. برای اندازه گیری رطوبت نسبی در نمونه ها از روش استاندارد وزنی استفاده شده است. روش وزنی عبارت است از خشک کردن نمونه مرطوب در آون در دمای 105^{oc} تا زمانی که در اثر خشک شدن تغییری در وزن مشاهده نشود. این زمان برای 24 ساعت کافی به نظر میرسد [7]. تفاوت بین جرم اولیه و جرم پایانی مقدار رطوبت کمپوست را بدست می‌دهد. تغییرات دمای مواد داخل پایلوت و هوای اطراف به وسیله دماسنج اندازه گیری میشود. برای اندازه گیری جامدات در هر نمونه ابتدا به اندازه 50 گرم از هر نمونه را وزن کرده و در بشر مخصوص به خود میریزیم. مواد فرار در دمای 550^{oc} به صورت گاز در می آیند و از ماده اولیه جدا می شوند. مواد جامدی که به صورت خاکستر باقی می ماند جزء جامدات ثابت است و موادی که به صورت فرار از ماده اولیه کم شده اند جزء مواد فرار به حساب می آیند. این مواد از کم کردن وزنی مواد ثابت از مواد اولیه به دست می آیند. برای این اندازه گیری نمونه را در اجاق الکتریکی در دمای 550^{oc} به مدت 24 ساعت حرارت داده تا تمامی جامدات فرار از نمونه ها خارج شود[8]. برای اندازه گیری جامدات مربوط به کرمها در هر نمونه، ابتدا 2 عدد کرم از هر پایلوت را جدا کرده، وزن نموده و در بشر مخصوص به خود می اندازیم. برای جلوگیری از فرار کرمها باید درب بشر بسته باشد، که برای این کار از شیشه ساعت استفاده شده است. لازم به ذکر است کرمهای مورد آزمایش از پایلوتهای جانبی جمع آوری شده است و از پایلوت اصلی جمع آوری نمی شود. جامدات ثابت و فرار کرمها با حرارت دادن در دمای 550^{oc}و توزین آنها به دست می آید [9].

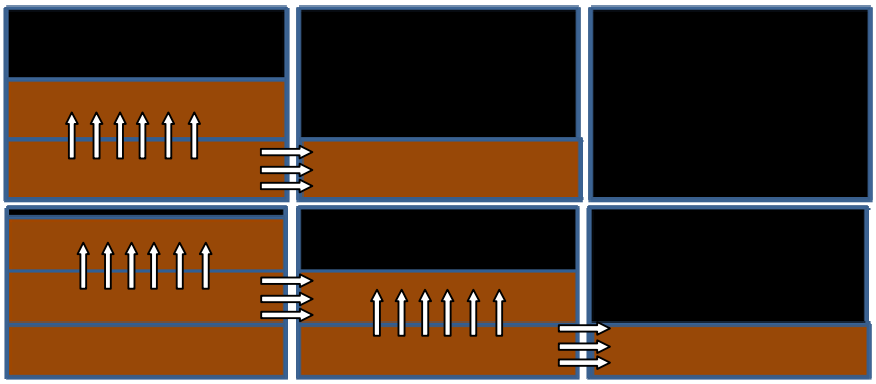
3-نتیجه گیری

در راکتور ثانویه ابتدا کرمها عمل ورمی کمپوست را انجام داده، سپس به سلول بعدی مهاجرت کرده تا عمل کمپوست گرمادوست در سلول قبلی شروع شود. در راکتور اولیه که از نوع جریان ناپیوسته است تغییرات دما به علت فعالیت کرمها افزایش چندانی ندارد و با دمای محیط تقریبا برابری میکند اما در راکتور ثانویه که عمل کمپوست نیز انجام میشود به علت فعالیت میکروارگانیزمها، پارامتر گرما اختلاف بیشتری با محیط اطراف پیدا میکند. حالت تلفیقی بودن این نوع راکتور و بالا رفتن درجه حرارت در این نوع خاص از راکتور میتواند معایب راکتور ورمی کمپوست را که بیشتر شامل از بین نرفتن عوامل بیماریزا به علت کاهش درجه حرارت است کاهش دهد. تغییرات دما در راکتور اولیه و ثانویه در جدول (2) نشان داده شده است.

جدول 2- تغییرات دما نسبت به زمان در راکتورهای اولیه و ثانویه

تغییرات دما در پایلوت اولیه (درجه سانتیگراد)				
شماره پایلوت اولیه	**دما در هفته اول**	**دما در هفته چهارم**	**دما در هفته هشتم**	
پایلوت 1	15	13	12	دمای محیط
	16	15	13	دمای پایلوت
پایلوت 2	15	13	12	دمای محیط
	15	14	11	دمای پایلوت
پایلوت 3	15	13	12	دمای محیط
	16	14	12	دمای پایلوت
پایلوت 4	15	13	12	دمای محیط
	15	15	14	دمای پایلوت
پایلوت 5	15	13	12	دمای محیط
	16	12	11	دمای پایلوت
تغییرات دما در پایلوت ثانویه (درجه سانتیگراد)				
پایلوت ثانویه	**دما در هفته اول**	**دما در هفته چهارم**	**دما در هفته هشتم**	
	23	18	17	دمای محیط
	31	41	28	دمای پایلوت

حرکت کرمها و مهاجرت آنها به سلول بعدی و لایه های بالایی در راکتور ثانویه علت به وجود آمدن جریان پیوسته در این نوع راکتور است. در این تحقیق راکتور ثانویه از سه سلول تشکیل شده است. چگونگی پیوستگی جریان و حرکت کرمها به علت مهاجرت به لایه های جدید در شکل (2) نشان داده شده است. بنابراین با مشاهده این نوع حرکت خاص در این راکتور سه سلولی، میتوان سلولهای بیشتری برای این نوع خاص از راکتور بسط داد و آنرا با سلولهای بیشتر طراحی و اجرا نمود.



شکل 2 - چگونگی حرکت کرمها از مرحله اول به مرحله دوم(بالا)- از مرحله دوم به سوم(پایین)

فعالیت میکروارگانیزمها و واکنشهای شیمیایی و بیولوژیکی کمپوست تابعی از میزان رطوبت آن است. همچنین فعایت کرمها در امر تولید ورمی کمپوست به رطوبت نسبی محیط بستگی دارد. رطوبت استاندارد برای فعالیتهای کرمهای خاکی رطوبت نسبی 70٪ در نظر گرفته شده است. برای رساندن رطوبت نسبی به حد مورد نیاز برای فعالیت و زندگی کرمها لازم است که در دوره های مشخص به پایلوتها آب اضاف شود. برای این منظور از آبیاری شبه بارانی استفاده شده است. بنابراین با این نوع آبیاری، باید رطوبت را به این حد استاندارد رساند. تغییرات رطوبت نسبی در جدول (3) و (4) آورده شده است.

جدول 3 - تغییرات رطوبت نسبی نسبت به زمان در پایلوت اولیه

رطوبت نسبی در پایلوت اولیه (٪)					
شماره پایلوت اولیه	**مرحله 1**	**مرحله 2**	**مرحله 3**	**مرحله 4**	**مرحله 5**
پایلوت 1	57.48	70.73	73.39	74.74	72.65
پایلوت 2	42.81	69.79	73.17	76.06	70.65
پایلوت 3	59.21	71.22	64.80	73.67	70.98
پایلوت 4	52.24	67.07	72.55	77.27	71.23
پایلوت 5	30.25	67.71	68.48	75.74	75.92

جدول 4 - تغییرات رطوبت نسبی نسبت به زمان در پایلوت ثانویه

رطوبت نسبی در پایلوت ثانویه (٪)				
مرحله 1	**مرحله 2**	**مرحله 3**	**مرحله 4**	**مرحله 5**
57.48	70.73	73.39	74.74	72.65
مرحله 6	**مرحله 7**	**مرحله 8**	**مرحله 9**	**مرحله 10**
65.87	67.84	72	70.84	65.03

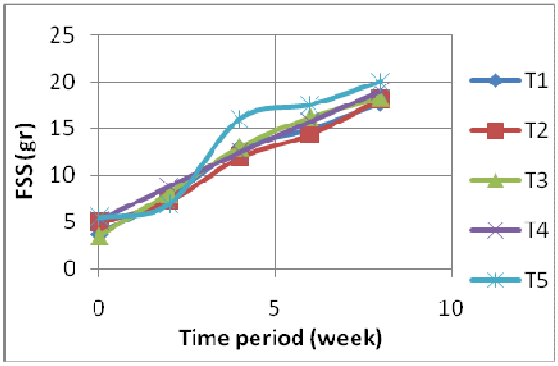
کمپوست کرمی مجموعه‌ای از فضولات کرم به همراه مواد آلی تجزیه شده و نشده و نیز اجساد و پیله‌های کرم است. بنابراین اندازه گیری تغییرات مواد غیر آلی در کمپوست جزئی ضروری است. اندازه گیری مواد غیر آلی نشان دهنده نوع کارکرد پایلوت است. میتوان با اندازه گیری مواد فرار به تغییرات مواد آلی نیز پی برد. به بیانی دیگر مواد فرار با درصد خطای کم نشان دهنده مواد آلی موجود درنمونه است. در جدول (6) و (7) تغییرات جامدات فرار(VS) و جامدات ثابت(FS) نسبت به زمان در هر دو نوع راکتور نشان داده شده است.

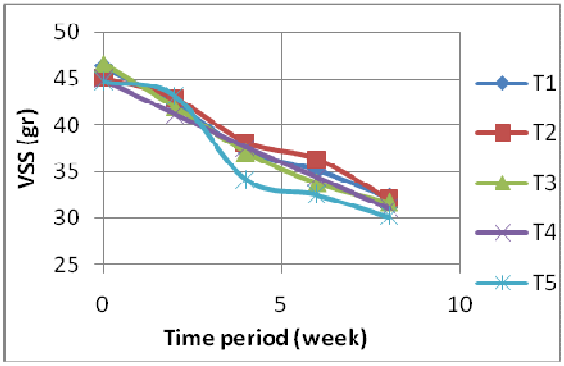
جدول 5 - تغییرات جامدات نسبت به زمان در پایلوت اولیه

تغییرات جامدات در پایلوت اولیه						
شماره پایلوت اولیه	وزن (gr)	مرحله 1	مرحله 2	مرحله 3	مرحله 4	مرحله 5
پایلوت 1	وزن اولیه	50.04	50.03	50.21	50.08	49.98
	VS	46.3	42.35	37.28	35.11	32.21
	FS	3.73	7.68	12.9	14.9	17.77
پایلوت 2	وزن اولیه	50.06	50.17	50	50.63	50.1

	VS	45.11	42.91	38.1	36.27	31.98
	FS	4.94	7.26	11.9	14.35	18.11
پایلوت 3	وزن اولیه	50.14	50.12	50.1	50	50
	VS	46.63	42	37.04	33.78	31.68
	FS	3.5	8.12	13	16.22	18.31
پایلوت 4	وزن اولیه	50.03	50	50	50.1	50
	VS	44.85	41.18	37.56	34.36	31.01
	FS	5.17	8.8	12.4	15.73	19
پایلوت 5	وزن اولیه	50.1	50.1	50	50	50.18
	VS	44.6	43.17	34.06	32.49	30.16
	FS	5.49	6.9	16	17.51	20

تغییرات جامدات فرار و جامدات ثابت نسبت به زمان در نمودار (1) نشان داده شده است. در پایلوتهای شماره1(T1)، شماره2(T2)، شماره3(T3) و شماره4(T4) که لجن جزئی از ماده تشکیل دهنده آنها است، روند تغییرات جامدات فرار و جامدات ثابت با هم همخوانی دارد اما در پایلوت شماره5(T5) که لجنی در آن نیست این روند با کمی تفاوت نسبت به دیگر پایلوتها است. با گذشت زمان مقدار مواد آلی موجود در پایلوتها به وسیله فعالیت کرمها کاهش می یابد، مواد آلی موجود در مواد خام پایلوتها کم شده و به بیومس کرمی و مواد ثابت تبدیل می شوند.





نمودار 1 – تغییرات جامدات فرار (سمت چپ) و جامدات ثابت (سمت راست) نسبت به زمان در پایلوت اولیه

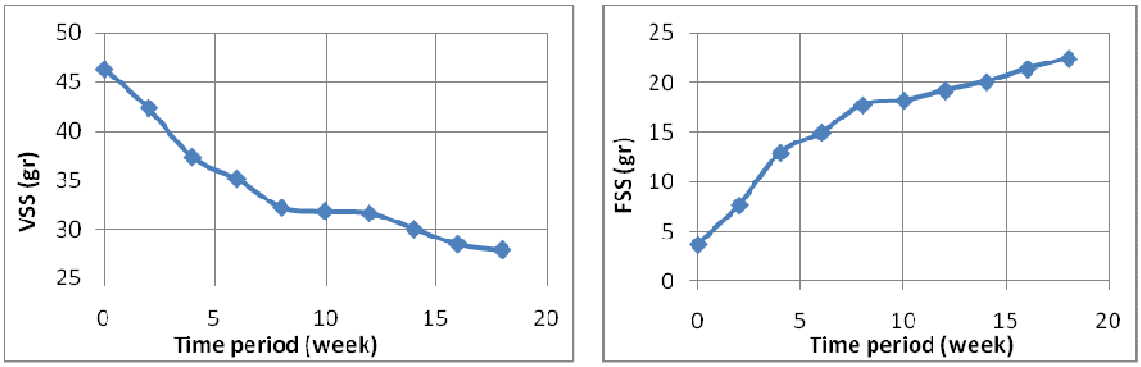
در پایلوت ثانویه که هر دو فرایند ورمی کمپوست و کمپوست انجام میپذیرد، روند تغییرات جامدات با پایلوت اولیه متفاوت است. تغییرات جامدات در فاز ورمی کمپوست با شدت بیشتری نسبت به فاز کمپوست انجام میپذیرد. علت این امر میتواند ناشی از فعالیت همزمان کرمها و میکروارگانیزمها در فاز ورمی کمپوست با وجود آنزیمهای ترشح شده از بدن کرم باشد. تغییرات جامدات فرار و جامدات ثابت در پایلوت اولیه در جدول (6) آورده شده است.

جدول 6 – تغییرات جامدات نسبت به زمان در پایلوت ثانویه

	تغییرات جامدات در پایلوت ثانویه (gr)				
	مرحله 1	**مرحله 2**	**مرحله 3**	**مرحله 4**	**مرحله 5**

وزن اولیه	50.042	50.036	50.21	50.08	49.987
VS	46.3	42.35	37.28	35.11	32.21
FS	3.73	7.68	12.92	14.96	17.77
	مرحله 6	**مرحله 7**	**مرحله 8**	**مرحله 9**	**مرحله 10**
وزن اولیه	50.023	50.812	50.118	49.85	50.3
VS	31.8	31.59	30.03	28.45	27.88
FS	18.21	19.21	20.08	21.39	22.42

همانطور که در نمودار (2) نشان داده شده است موادی که به صورت مواد جامد ثابت است افزایش می یابد. این قسمت جزء مواد غیر آلی محسوب می شود. مقدار جامدات فرار که می تواند نماینده مواد آلی موجود در پایلوت باشد، کاهش می یابد.



نمودار 2 – تغییرات جامدات فرار(سمت چپ)، جامدات ثابت(سمت راست) نسبت به زمان در پایلوت ثانویه

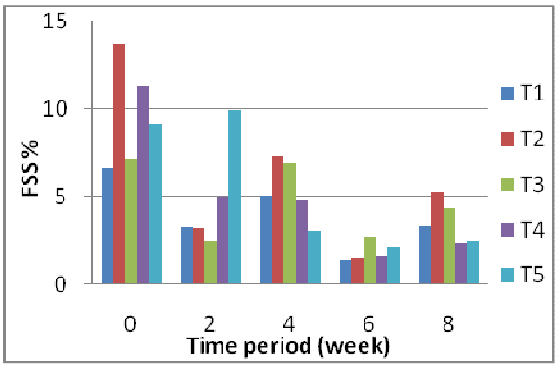
اندازه گیری رشد کرمها و تغییرات جامدات در بیومس کرمی در سیستم ورمی کمپوست از اهمیت بسزایی برخوردار است. در ابتدا کرمها به صورت نابالغ در پایلوتهایی جداگانه گذاشته شدند. تعداد 10 عدد کرم برای هر پایلوت جدا شد. برای هر دوره آزمایش 2 عدد کرم از هر پایلوت انتخاب و آزمایشات بر روی آنها انجام شد. در جدول (7) تغییرات جامدات ثابت و جامدات فرار در بیومس کرمی نسبت به زمان نشان داده شده است.

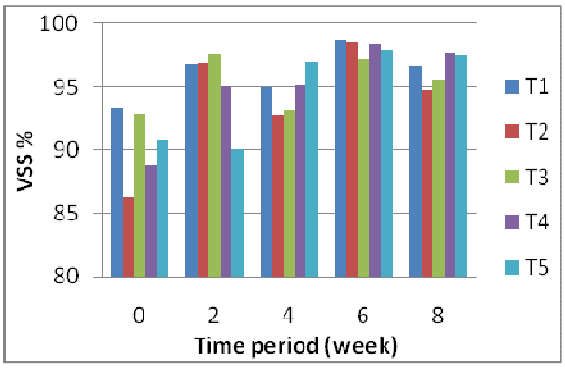
جدول 7 – تغییرات جامدات در بیومس کرمی در پایلوت جانبی

تغییرات جامدات در بیومس کرمی در پایلوت جانبی						
شماره پایلوت جانبی	وزن (gr)	مرحله 1	مرحله 2	مرحله 3	مرحله 4	مرحله 5
پایلوت جانبی 1	وزن اولیه کرم	423	958	1252	1489	1745
	VS	395	927	1189	1470	1687
	FS	28	31	63	19	58
پایلوت جانبی 2	وزن اولیه کرم	490	798	1058	1256	1450
	VS	423	773	981	1237	1374
	FS	67	25	77	19	76
پایلوت جانبی 3	وزن اولیه کرم	515	752	1090	1289	1563
	VS	478	734	1015	1254	1495

	FS	37	18	75	35	68
پایلوت جانبی 4	وزن اولیه کرم	452	704	1098	1115	1396
	VS	401	669	1045	1097	1364
	FS	51	35	53	18	32
پایلوت جانبی 5	وزن اولیه کرم	483	725	993	1103	1312
	VS	439	653	963	1080	1280
	FS	44	72	30	23	32

همانطور که در نمودار (3) مشاهده میگردد اگر ابتدا و انتهای آزمایش را برای هر پایلوت در نظر بگیریم، کرمها با گذشت زمان رشد کرده و بیومس کرمی تولید کرده اند. مقدار جامدات ثابت برای آنها از روندی کاهشی و جامدات فرار از روند افزایشی برخوردار است، اما در قسمتهای زمانی متوالی این تغییرات از قانون خاصی پیروی نمیکند. علت این امر آن است که در هر بار آزمایش تعداد 2 عدد کرم از 10 عدد انتخاب شده است و در هر آزمایش این کرمها متفاوت از دفعه قبل هستند، بنابراین بر اساس متفاوت بودن کرمها در هر آزمایش، مقدار پارامترهای به دست آمده نیز متفاوت است.





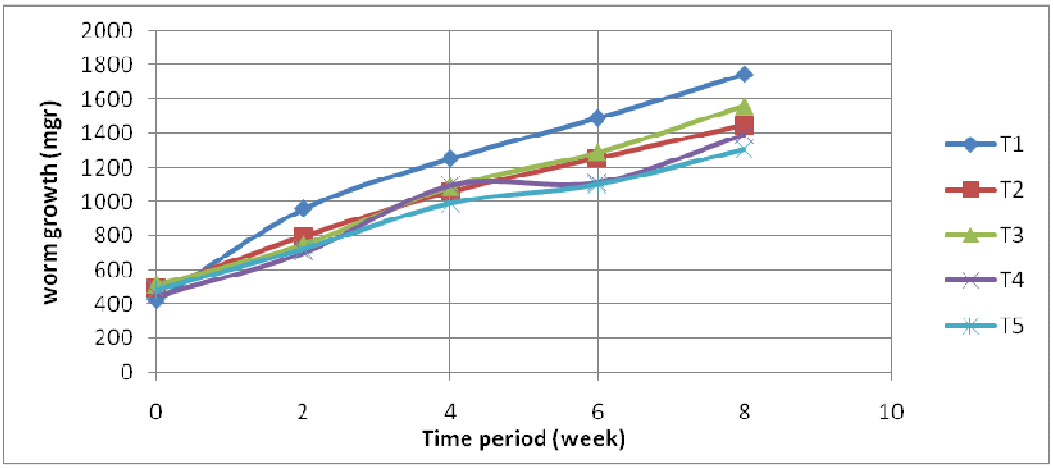
نمودار 3 - تغییرات جامدات فرار(سمت چپ)، جامدات ثابت(سمت راست) نسبت به زمان در بیومس کرمی

چگونگی رشد کرمها و افزایش و یا کاهش بیومس کرمی میتواند چگونگی کارکرد سیستم ورمی کمپوست را نشان دهد. این تغییرات در جدول (8) نشان داده شده است. همانطور که در جدول (8) و نمودار (4) نشان داده شده است با گذر زمان و رشد کرمها، به بیومس کرمی افزوده میشود. بیشترین رشد مربوط به پایلوت شماره 1 و کمترین رشد مربوط به پایلوت شماره 5 است. به نظر میرسد کرمها در محیطی که لجن موجود باشد رشد بیشتری خواهند داشت و بیوماس کرمی افزایش بیشتری خواهد داشت.

جدول 8 - تغییرات وزن کرمها نسبت به زمان در پایلوتهای جانبی

پایلوت	وزن کرم در مرحله 1 (mgr)	وزن کرم در مرحله 2 (mgr)	وزن کرم در مرحله 3 (mgr)	وزن کرم در مرحله 4 (mgr)	وزن کرم در مرحله 5 (mgr)
پایلوت جانبی 1	423	958	1252	1489	1745
پایلوت جانبی 2	490	798	1058	1256	1450
پایلوت جانبی 3	515	752	1090	1289	1563

پایلوت جانبی 4	452	704	1098	1115	1396
پایلوت جانبی 5	483	725	993	1103	1312



نمودار 4 – رشد کرمها نسبت به زمان در پایلوتها

4- قدردانی

در اینجا نویسندگان بر خود لازم میدانند تا از شرکت آب و فاضلاب شیراز و مسئولان محترم آن شرکت، جهت قبول هزینه های آزمایشات و ساخت پایلوتهای مربوط به این تحقیق مراتب تشکر و قدردانی را به عمل آورند.

5- منابع

1. سماوات ، سعید (1380). "چگونگی تولید ورمی کمپوست از ضایعات شهری و کشاورزی"، موسسه تحقیقات آب و خاک، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی.
2. Camp, Dresser & McKee, inc., engineering assessment of vermicomposting municipal wastewater sludge, office of research and development. EPA, Cincinnati, Ohio, EPA/600/2-81/075, 1981.
3. Logsdon, G., “Worldwide progress in vermicomposting”, *Biocycle*, 3(510):63-65, 1994.
4. Elvira, C., Goicoechea, M., Sampedro, L., Mato, S. and Nogales, R., “Bioconversion of solid paper-pulp mill sludge by earthworms”, *Bioresource Technology*, 57: 173-177, 1996.
5. Green waste technology unit. “A literature review of worms in waste management for southern waste board”, university of New South Wales, 1999.
6. Scharder, S., Zhang, H., earthworm casting: stabilization or destabilization of soil structure, *soil biochemistry*, 29, 743-746, 1997.
7. APAH, AWWA, WPCF, standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed., Washington DC, 1992.
8. Navarro, A.F., Cegarra, J., Roig, A., Garcia, D., Relationships between organic matter and carbon contents of organic wastes. *Bioresource Technology*. 70, 23-31, 1993.
9. Tomlin, A.D., Shipitalo, M.J., Edwards, C.A., earthworm and their influence on soil structure and infiltration, *earthworm ecology and biogeography in north America* (ed. P.F.Hendrix), Lewis publisher, Chelsea, 159-184, 1995.