

اثرات جامدات خشک و مواد حجم زا بر تثبیت لجن فاضلاب شهری با کرم خاکی *آیزنیا فتیدا*

محمدعلی عبدلی^۱ علی اکبر عظیمی^۲ قاسمعلی عمرانی^۳
ایرج اله دادی^۴ محمدرضا روشنی^۵

(دریافت ۸۷/۸/۶ پذیرش ۸۸/۱/۲۰)

چکیده

در بیشتر عملیات تصفیه فاضلاب، مقدار زیادی لجن تولید می‌گردد که تقابل با آن نیازمند دقت است. تاکنون مطالعات زیادی پیرامون کاربرد کرمهای خاکی برای تثبیت لجن و فاضلاب به‌عنوان یکی از فرایندهای بیولوژیکی انجام شده است. در بخش اول این تحقیق، اثرات متقابل جامدات خشک لجن و نوع مواد حجم‌زا مانند خاک اره، کاه و کاغذ در مخلوط با لجن فعال با جامدات خشک ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد به تعداد ۱۰ تیمار بر کاهش جامدات فرار لجن با استفاده از کرم خاکی *آیزنیا فتیدا* در مقیاس پایلوت و کاربرد ۵۰ عدد کرم در هر تیمار به مدت ۱۰ هفته مورد بررسی قرار گرفت. بیشینه کاهش جامدات فرار در مخلوط لجن با کاغذ با جامدات خشک ۱۵ درصد، معادل 0.42 ± 0.03 درصد در روز به‌دست آمد. در بخش دوم، بقای کرمهای خاکی *آیزنیا فتیدا* در لجن بی‌هوازی فاضلاب بررسی شد. در لجن خالص بی‌هوازی تازه، تمام کرمها در طول ۱۰ هفته اول به‌دلیل سمیت لجن دچار مرگ و میر شده و از هفته دهم به بعد و با کاهش سمیت، میزان بقای آنها افزایش یافت و از هفته دوازدهم به بعد و با کاهش ۲۵/۴۰ درصد از جامدات فرار اولیه لجن، کلیه کرمها زنده ماندند. در حالی که در مخلوط لجن بی‌هوازی با کاغذ (جامدات خشک ۱۵ درصد) به‌دلیل بهبود شرایط هوازی، از هفته هشتم به بعد و با کاهش ۱۷/۴۰ درصد از جامدات فرار اولیه لجن، تمام کرمها زنده ماندند.

واژه‌های کلیدی: *آیزنیا فتیدا*، کرمهای خاکی، لجن فعال، لجن بی‌هوازی، مواد حجم‌زا، جامدات فرار، کمپوست، تصفیه لجن.

Effects of Sludge Dry Solid Content and Residual Bulking Agents on Volatile Solids Reduction Using *Eisenia foetida*

Mohammad ali Abdoli¹ Aliakbar Azimee² Ghasemali Omrani³
Iraj allah Dadi⁴ Mohammadreza Roshani⁵

(Received Oct. 28, 2008 Accepted Apr. 9, 2009)

Abstract

In the first stage of this study, the compound effects of sludge dry solid content and residual bulking agent type (paper, saw dust, straw) mixed with activated sludge (10, 15, and 20% dry solids) on volatile solids (V.S.) reduction were investigated using *Eisenia foetida* in pilot scale experiments with batches of fifty earthworms in each of the 10 experimental treatments over a period of 10 weeks. The maximum V.S. reduction was attained in the mixture of sludge and paper, with a D.S. of 15% (0.42 ± 0.03 % day⁻¹) while the minimum V.S. reduction was achieved in the mixture of sludge and straw, with a D.S. of 10% (0.26 ± 0.01 % day⁻¹). In the second stage, the survival of *Eisenia foetida* in the anaerobic sewage sludge was investigated. In the unmixed raw anaerobic sludge, all the earthworms died during the first 9 weeks of the study period due to acute toxicity. From week 10, however, their survival rate improved so that by week 12 when toxicity reduced to 25.40%, they completely survived. This is while in the mixture of anaerobic sludge with paper (D.S. 15%), 100% of the earthworms survived from week 8 after the volatile solids reduced to 20.42% and 17.40%.

Keywords: *Eisenia Foetida*, Earthworms, Activated Sludge, Anaerobic Sludge, Bulking Agents, Volatile Solids, Compost, Sludge Processing.

1. Prof., Dept. of Environmental Engineering, University of Tehran
2. Assist. Prof., Dept. of Environmental Engineering, University of Tehran
3. Assoc. Prof., Faculty of Health, Medical Science University of Tehran
4. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and plant Breeding of Abureihan, University of Tehran
5. Ph.D. Graduate, Dept. of Environmental, University of Tehran, (Corresponding Author) (0411) 5536854, mrroshani@yahoo.com

- ۱- استاد گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
- ۲- استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران و دانشگاه آزاد اسلامی اهر
- ۳- دانشیار گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
- ۴- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
- ۵- دکترای مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) ۵۵۳۶۸۵۴ (۰۴۱۱) mrroshani@yahoo.com

بوده است و تاکنون اثرات متقابل این دو بررسی نشده است؛ لذا هدف بخش اول پژوهش مربوط به این موضوع و در جهت ادامه و تکمیل کارهای قبلی بود.

همچنین علی‌رغم اینکه در مطالعات قبلی به سمیت لجن بی‌هوازی تازه برای کرمهای خاکی و لزوم پیش تصفیه (تثبیت) آن، قبل از تغذیه کرمها و نیز اثرات مواد حجم‌زا در بهبود شرایط پرداخته شده، ولی این موضوع آن‌چنان که باید مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا هدف بخش دوم پژوهش مربوط به این بحث و دست‌یابی به شاخصهای کمی و قابل‌سنجش بود.

در این مطالعه، اثرات برخی مواد حجم‌زا مانند کاغذ، کاه و خاک اره در اختلاط با لجن فعال فاضلاب شهری (در سه مقدار درصد جامدات خشک ۱۰، ۱۵ و ۲۰) بر مقدار کاهش درصد جامدات فرار (به‌عنوان شاخص تثبیت لجن) و نیز تأثیر مواد حجم‌زا بر روی میزان بقای کرمهای خاکی در لجن بی‌هوازی فاضلاب در طی فرایند کمپوست کرمی با استفاده از کرم خاکی *آیزینیا فتیدا* در مقیاس پایلوت مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روشها

نمونه‌هایی از کرمهای خاکی نابالغ *آیزینیا فتیدا* با وزن هر کدام ۱۷۰ تا ۲۲۰ میلی‌گرم به‌صورت تصادفی از پشته‌های کود گاوی واحد تولید کمپوست کرمی کارخانه کمپوست شرکت کودآلی شهرداری تبریز جمع‌آوری گردید. لجن فعال و لجن بی‌هوازی نیز از تصفیه‌خانه بزرگ فاضلاب تبریز که در مجاورت کارخانه کمپوست قرار دارد، تهیه شد.

در بخش اول پژوهش، تعداد ۵۰ عدد کرم نابالغ درون ۳۰ عدد ظرف پلاستیکی شش لیتری یکسان به طول ۲۸، عرض ۲۲ و عمق ۱۰ سانتی‌متر که دارای درپوش محکم و سامانه مناسب زهکشی و تهویه بودند، وارد گردید. داخل هر کدام از ظروف مقدار ۳/۵ کیلوگرم از تیمارهای گوناگون لجن فعال خالص و مخلوط لجن با مواد حجم‌زا ریخته شد. در این تحقیق، تعداد ۱۰ تیمار و هر کدام در سه تکرار تهیه گردید که سه تیمار اول مربوط به مخلوط لجن با کاغذ، سه تیمار دوم مربوط به مخلوط لجن با کاه، سه تیمار سوم مربوط به مخلوط لجن با خاک اره (در همه موارد درصد جامدات خشک ۱۰، ۱۵ و ۲۰) و تیمار دهم نیز مربوط به لجن خالص به‌عنوان شاهد بود. پس از آماده شدن ظروف و تیمارها، مقدار جامدات خشک و فرار محتویات ظروف، مقدار وزن کرمها و تعداد پيله‌گذاری به‌صورت هفتگی و به‌طور همزمان در طول مدت ده هفته مورد اندازه‌گیری و شمارش قرار گرفت و در این مدت هیچ‌گونه ماده غذایی به ظروف اضافه نشد.

در بیشتر عملیات تصفیه فاضلاب، مقدار زیادی لجن تولید می‌گردد که تقابل با آن، نیازمند دقت است. تثبیت و دفع لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری از اهمیت حیاتی ویژه‌ای برخوردار است [۱]. در حال حاضر اهمیت فرایندهای بیولوژیکی در مدیریت لجن به‌طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. کمپوست معمولی و کمپوست کرمی در بین گستره وسیعی از فرایندهای بیولوژیکی دارای بیشترین کارایی در تبدیل لجن به ترکیبات مفید هستند [۲].

مطالعات درباره کاربرد کرمهای خاکی برای تثبیت لجن فاضلاب به‌عنوان یکی از فرایندهای بیولوژیکی، از حدود سه دهه گذشته آغاز شد [۳]. در حال حاضر نیز این روش به‌عنوان یک روش ساده، ارزان و متداول توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۴]. کمپوست کرمی روشی کم‌هزینه است که در آن، کرمها مواد آلی را خرد کرده، فعالیت میکروبی را تشدید نموده و سرعت معدنی شدن را افزایش می‌دهد [۵، ۶ و ۷]. این موضوع در گذشته به‌طور کامل در مقیاس آزمایشگاهی اثبات شده که می‌توان لجن هوازای فاضلاب شهری را به‌وسیله کرم خاکی *آیزینیا فتیدا*^۱ با سرعت معادل سه برابر شرایط بدون استفاده از کرمها تجزیه و تثبیت نمود که این امر به‌دلیل افزایش سرعت تجزیه میکروبی در مدفوع کرمها است. بخش عمده لجن تولید شده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، بی‌هوازی بوده و در صورت تازه بودن، برای کرمها سمی است؛ ولی پس از ایجاد شرایط هوازای برای کرمها ماده غذایی به شمار می‌رود. جنبه‌های اساسی متعددی در مورد تثبیت لجن به روش کمپوست کرمی وجود دارند که هنوز مورد پژوهش و ارزیابی قرار نگرفته‌اند، تا اطمینان کافی از میزان موفقیت این فرایند ایجاد نمایند.

در مطالعات قبلی ثابت شده که اختلاط لجن فاضلاب با موادی نظیر کاغذ، کاه و خاک اره و یا سایر مواد غنی از کربن و کمپوست کردن آن با استفاده از کرمهای خاکی می‌تواند تجزیه لجن را به‌دلیل اختلاط کامل مواد در حین عبور از دستگاه گوارش کرمهای خاکی و ورود آنها به مدفوع کرمها سرعت بخشد. همچنین مواد حجم‌زا می‌توانند با تأمین کربن و جلوگیری از افت نیتروژن در اثر تبخیر آمونیاک، سبب بهبود نسبت کربن به نیتروژن شوند. همچنین درصد جامدات خشک (رطوبت) لجن یکی از عوامل اصلی و مهم در موفقیت فرایند کمپوست کرمی به‌شمار می‌رود [۸].

مطالعاتی که تاکنون در این زمینه صورت گرفته است یا در مورد اثرات نوع مواد حجم‌زا بر تثبیت لجن (کاهش جامدات فرار) و یا در خصوص تأثیر درصد جامدات خشک لجن بر تثبیت لجن

¹ *Eisenia Foetida*

در بخش دوم پژوهش، تعداد شش ظرف مشابه ظروف به کار رفته در بخش اول تهیه گردید. در هر کدام از سه ظرف اول مقدار ۳/۵ کیلوگرم لجن بی‌هوازی و در هر کدام از سه ظرف دوم نیز مقدار ۳/۵ کیلوگرم مخلوط لجن بی‌هوازی و کاغذ (جامدات خشک ۱۵ درصد) ریخته شد و در هر کدام از شش ظرف تعداد ۵۰ عدد کرم خاکی *آیزینیا فتیدا* (نیمی بالغ و نیمی نابالغ) افزوده گردید. سپس به مدت ۱۲ هفته و به طور هفتگی اندازه‌گیری درصد جامدات خشک و فرآر و pH محتویات ظروف و شمارش تعداد کرمهای زنده انجام شد. کلیه کرمهای موجود، در پایان هر هفته از ظروف خارج و کرمهای جدید جایگزین آنها می‌گردید.

۳- آزمایش‌های شیمیایی تیمارها

نمونه‌های ۵۰ گرمی از محتویات هر کدام از ظرفها در پایان هر هفته برداشته شد. مقدار جامدات خشک و فرآر نمونه‌ها با خشک کردن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و خاکستر کردن در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از روش استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب^۱ اندازه‌گیری گردید. سپس نمونه‌ها با آب مقطر ۱۰ برابر رقیق شدند و pH و هدایت الکتریکی آنها به روش الکترومتری و نیتروژن آمونیایی تیمارهای پژوهش نیز به روش ماکروکجلدال^۲ اندازه‌گیری شد.

۴- نتایج و بحث

در تحقیقات گذشته حداکثر مقدار آمونیاک و هدایت الکتریکی قابل تحمل برای کرم خاکی *آیزینیا فتیدا* به ترتیب معادل ۵۰۰۰ میکروگرم درگرم و ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر بیان شده است [۸ و ۹]. همچنین عنوان گردیده که کرمها در pH بین ۵ تا ۷/۵ هدایت الکتریکی حداکثر تا ۱۰۰۰۰ را تحمل می‌کنند [۱۰]. در پژوهشهای قبلی، مقدار نمک، (هدایت الکتریکی)، آمونیاک و pH به‌عنوان عوامل مؤثر در فعالیت و تغذیه کرمهای خاکی ذکر شده‌اند [۱۱]. لذا لجن فعالی که در بخش اول پژوهش استفاده گردید به گونه‌ای در نظر گرفته شد که دارای مقدار آمونیاک کم (۱۶۹۰ میکروگرم در گرم) و هدایت الکتریکی پایین (۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر) باشد که این مقادیر برای رشد و نمو *آیزینیا فتیدا* مناسب است و در نتیجه میزان بقای کرمها در لجن خالص (شاهد) زیاد بود. هر چند که معیار مشخصی برای کم یا زیاد بودن میزان مرگ و میر کرمهای خاکی وجود ندارد، ولی در مطالعات قبلی انجام شده توسط محققان، مرگ و میر کمتر از ۲ درصد به‌عنوان

بسیار کم و بیش از ۴۰ درصد به‌عنوان قابل توجه ذکر شده است [۱۲]. در این تحقیق میزان مرگ و میر کرمها در تمام تیمارها کمتر از شش درصد بود، به‌جز مخلوط لجن با کاه (جامدات خشک ۱۰ درصد) که این مقدار به حدود ۱۶ درصد در طول دو هفته اول پژوهش رسید، لذا می‌توان گفت که به‌طور کلی در این پژوهش میزان بقای کرمها زیاد و میزان مرگ و میر آنها اندک بود.

در طول مدت ۱۰ هفته پژوهش، میانگین حداقل، حداکثر و متوسط دما به ترتیب برابر $24 \pm 0/49$ ، $38 \pm 0/38$ ، $21/09 \pm 0/30$ درجه سانتی‌گراد بود. نتایج بخش اول پژوهش در جدولهای ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است. جدول ۱ نشان می‌دهد که در بین کلیه تیمارها، حداکثر کاهش جامدات فرار مربوط به مخلوط لجن و کاغذ، با جامدات خشک ۱۵ درصد معادل $0/03 \pm 0/42$ درصد در روز و حداقل آن مربوط به مخلوط لجن و کاه با جامدات خشک ۱۰ درصد و معادل $0/01 \pm 0/26$ در روز بود. در جدول ۲ مشاهده می‌گردد که در بین تیمارهای اصلی حداکثر کاهش جامدات فرار در لجن خالص و معادل $0/01 \pm 0/38$ در روز و حداقل آن در مخلوط لجن با کاه و معادل $0/01 \pm 0/30$ در روز بود. همان‌طور که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود در بین تیمارهای دارای درصد جامدات خشک یکسان، حداکثر کاهش جامدات فرار در لجن خالص و معادل $0/01 \pm 0/38$ در روز و حداقل آن مربوط به جامدات خشک ۱۰ درصد و معادل $0/01 \pm 0/28$ در روز بود. لازم به‌ذکر است که در تمامی موارد مذکور تحلیل واریانس یک طرفه به روش حداقل اختلاف معنی‌دار^۳ انجام شد.

نتایج به‌دست آمده از تحلیل واریانس دو طرفه (جدول ۴) نشان داد که نوع مواد حجم‌زا در مقایسه با مقدار جامدات خشک تیمارها تأثیر بیشتری بر روی مقدار کاهش جامدات فرار دارد و نیز هیچ نوع اندرکنشی بین نوع مواد حجم‌زا و درصد جامدات خشک تیمارها در ارتباط با کاهش جامدات فرار مشاهده نگردید.

با توجه به اینکه رشد سریع‌تر و بیشتر کرمها به منزله مصرف و تجزیه بیشتر مواد آلی لجن توسط کرمهای خاکی و تبدیل آن به جرم زنده کرمها می‌باشد، بررسی مطالعات قبلی انجام شده در مورد اثرات مواد حجم‌زا با توجه به تفاوت‌های موجود بین مطالعات همخوانی قابل توجهی را با پژوهش حاضر نشان می‌دهد. دومینگوئز^۴ و همکاران طی مطالعه اثرات نوع مواد حجم‌زا بر رشد و تولید مثل *آیزینیا آندری*^۵ در لجن فاضلاب شهری، سرعت رشد

³ Least Significant Differences (LSD)

⁴ Dominguez

⁵ Eisenia Andrei

¹ APHA, 2005, NO. 2540G

² APHA, 2005, NO. 4500-NH₃

جدول ۱- تغییرات جامدات فرآر لجن فعال هوازی در کلیه تیمارهای ده‌گانه

تیمار	درصد جامدات فرآر اولیه (درصد در جامدات خشک)	درصد جامدات فرآر پس از ۱۰ هفته (درصد در جامدات خشک)	مقدار کاهش جامدات فرآر پس از ۱۰ هفته (درصد)	نرخ کاهش جامدات فرآر (درصد در روز)
مخلوط لجن با کاغذ (جامدات خشک ۲۰٪)	۶۹/۸۳ ± ۰/۰۳	۵۱/۸۷ ± ۰/۵۹ ^۱	۲۵/۷۲ ± ۰/۸۲	۰/۳۷ ± ۰/۰۲ ^۲ ad
مخلوط لجن با کاغذ (جامدات خشک ۱۵٪)	۶۸/۶۸ ± ۰/۰۵	۴۸/۵۹ ± ۰/۸۰	۲۹/۲۶ ± ۱/۱۶	۰/۴۲ ± ۰/۰۳ ^a
مخلوط لجن با کاغذ (جامدات خشک ۱۰٪)	۶۷/۳۵ ± ۰/۰۵	۵۲/۶۴ ± ۰/۴۶	۲۱/۸۳ ± ۰/۷۱	۰/۳۱ ± ۰/۰۲ ^{cd}
مخلوط لجن با کاه (جامدات خشک ۲۰٪)	۶۷/۸۰ ± ۰/۰۵	۵۴/۵۶ ± ۰/۷۲	۱۹/۵۲ ± ۰/۱۰	۰/۲۸ ± ۰/۰۳ ^{bc}
مخلوط لجن با کاه (جامدات خشک ۱۵٪)	۶۷/۱۴ ± ۰/۰۳	۵۰/۰۷ ± ۱/۱۶	۲۵/۴۲ ± ۱/۷۰	۰/۳۶ ± ۰/۰۴ ^{ad}
مخلوط لجن با کاه (جامدات خشک ۱۰٪)	۶۶/۵۵ ± ۰/۰۴	۵۴/۵۶ ± ۰/۳۹	۱۸/۰۲ ± ۰/۵۱	۰/۲۶ ± ۰/۰۱ ^b
مخلوط لجن با خاک اره (جامدات خشک ۲۰٪)	۶۶/۰۵ ± ۰/۰۳	۴۸/۷۸ ± ۰/۴۴	۲۶/۱۵ ± ۰/۶۴	۰/۳۷ ± ۰/۰۲ ^{ad}
مخلوط لجن با خاک اره (جامدات خشک ۱۵٪)	۶۵/۹۳ ± ۰/۰۴	۵۰/۲۳ ± ۰/۶۰	۲۳/۸۱ ± ۰/۸۷	۰/۳۴ ± ۰/۰۲ ^{cd}
مخلوط لجن با خاک اره (جامدات خشک ۱۰٪)	۶۵/۷۵ ± ۰/۰۲	۵۲/۹۵ ± ۰/۸۲	۱۹/۴۶ ± ۱/۲۸	۰/۲۸ ± ۰/۰۳ ^{bc}
لجن خالص (شاهد)	۶۵/۵۲ ± ۰/۰۴	۴۸/۱۷ ± ۰/۲۴	۲۶/۴۸ ± ۰/۳۳	۰/۳۸ ± ۰/۰۱ ^{ad}

(۱) میانگین ± خطای استاندارد

(۲) تیمارهای دارای حداقل یک حرف اختصاری یکسان اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($p \leq 0/05$).

جدول ۲- تغییرات جامدات فرار در کلیه تیمارهای دارای مواد حجم‌زای یکسان در مقایسه با شاهد (تیمارهای اصلی)

تیمار	درصد جامدات فرآر اولیه (درصد در جامدات خشک)	درصد جامدات فرآر پس از ۱۰ هفته (درصد در جامدات خشک)	مقدار کاهش جامدات فرآر پس از ۱۰ هفته (درصد)	نرخ کاهش جامدات فرآر (درصد در روز)
مخلوط لجن با کاغذ	۶۸/۶۲ ± ۰/۱۲ ^۱	۵۱/۰۳ ± ۰/۲۸	۲۵/۶۰ ± ۰/۰۴	۰/۳۶ ± ۰/۰۱ ^{at}
مخلوط لجن با کاه	۶۷/۱۶ ± ۰/۰۶	۵۳/۰۶ ± ۰/۳۴	۲۰/۹۹ ± ۰/۵۱	۰/۳۰ ± ۰/۰۱ ^b
مخلوط لجن با خاک اره	۶۵/۹۱ ± ۰/۰۲	۵۰/۶۵ ± ۰/۲۸	۲۳/۱۴ ± ۰/۴۳	۰/۳۳ ± ۰/۰۱ ^{ab}
لجن خالص (شاهد)	۶۵/۵۲ ± ۰/۰۴	۴۸/۱۷ ± ۰/۲۴	۲۶/۴۸ ± ۰/۳۳	۰/۳۸ ± ۰/۰۱ ^a

(۱) میانگین ± خطای استاندارد

(۲) تیمارهای دارای حداقل یک حرف اختصاری یکسان اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($p \leq 0/05$).

جدول ۳- تغییرات جامدات فرار در کلیه تیمارهای دارای درصد جامدات خشک یکسان در مقایسه با شاهد

تیمار	درصد جامدات فرآر اولیه (درصد در جامدات خشک)	درصد جامدات فرآر پس از ۱۰ هفته (درصد در جامدات خشک)	مقدار کاهش جامدات فرار پس از ۱۰ هفته (درصد)	نرخ کاهش جامدات فرآر (درصد در روز)
جامدات خشک ۲۰ درصد	۶۷/۸۹ ± ۰/۱۸ ^۱	۵۱/۷۴ ± ۰/۳۳	۲۳/۷۹ ± ۰/۴۳	۰/۳۴ ± ۰/۰۱ ^{bt}
جامدات خشک ۱۵ درصد	۶۷/۲۵ ± ۰/۱۳	۴۹/۶۳ ± ۰/۲۷	۲۶/۱۶ ± ۰/۰۵	۰/۳۷ ± ۰/۰۱ ^b
جامدات خشک ۱۰ درصد	۶۶/۵۵ ± ۰/۰۸	۵۳/۳۸ ± ۰/۲۰	۱۹/۷۷ ± ۰/۳۲	۰/۲۸ ± ۰/۰۱ ^a
لجن خالص (شاهد)	۶۵/۵۲ ± ۰/۰۴	۴۸/۱۷ ± ۰/۲۴	۲۶/۴۸ ± ۰/۳۳	۰/۳۸ ± ۰/۰۱ ^b

(۱) میانگین ± خطای استاندارد

(۲) تیمارهای دارای حداقل یک حرف اختصاری یکسان اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($p \leq 0/05$).

جدول ۴- تعیین اختلافات معنی دار بین اثرات انواع مواد حجم زا و درصد جامدات خشک روی کاهش جامدات فرار

تحلیل واریانس دو طرفه			
وجود اختلاف معنی دار بین (p ≤ ۰/۰۵)			
متغیر	مواد مختلف حجم زا (کاغذ، کاه، خاک اره)	درصد جامدات خشک مختلف (۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد)	اندرکنش بین مواد حجم زا و درصد جامدات خشک
مقدار کاهش جامدات فرار پس از ۱۰ هفته	معنی دار (p ≤ ۰/۰۵)	معنی دار (p ≤ ۰/۰۵)	غیر معنی دار

جدول ۵- تعیین میزان همبستگی بین تغییرات مقدار جامدات فرار لجن و متغیرهای مختلف مربوط به رشد و تولید مثل کرمهای خاکی

رگرسیون خطی ساده (R-sqr)						
متغیر	سرعت رشد هر کدام از کرمها (میلی گرم در روز)	حداکثر وزن هر کدام از کرمها (میلی گرم)	وزن افزوده هر کدام از کرمها (میلی گرم)	تعداد پيله توليدي به وسيله هر کرم	میانگین وزن هر کرم هنگام بلوغ (میلی گرم)	مقدار کاهش جامدات فرار تیمارها پس از ۱۰ هفته (درصد)
سرعت رشد هر کدام از کرمها (میلی گرم در روز)	-----	٪۹۲/۸۰	٪۹۱/۷۰	٪۹/۳۰	٪۴۶/۹۰	٪۸۸/۰۰
حداکثر وزن هر کدام از کرمها (میلی گرم)	٪۹۲/۸۰	-----	٪۹۹/۲۰	٪۲/۶۰	٪۵۸/۳۰	٪۸۴/۱۰
وزن افزوده هر کدام از کرمها (میلی گرم)	٪۹۱/۷۰	٪۹۹/۲۰	-----	٪۳/۴۰	٪۵۸/۹۰	٪۸۵/۵۰
تعداد پيله توليدي به وسيله هر کرم	٪۹/۳۰	٪۲/۶۰	٪۳/۴۰	-----	٪۰/۰۰	٪۱۴/۱۰
میانگین وزن هر کرم هنگام بلوغ (میلی گرم)	٪۴۶/۹۰	٪۵۸/۳۰	٪۵۸/۹۰	٪۰/۰۰	-----	٪۴۵/۲۰
مقدار کاهش جامدات فرار تیمارها پس از ۱۰ هفته (درصد)	٪۸۸/۰۰	٪۸۴/۱۰	٪۸۵/۵۰	٪۱۴/۱۰	٪۴۵/۲۰	-----

۱۸ درصد کاهش در سی روز (برای جامدات خشک ۱۵ درصد) و ۱۸ درصد کاهش در سی روز (برای C:N معادل ۲۵) [۲۰].

رگرسیون خطی بین عوامل مختلف پژوهش، شامل کاهش جامدات فرار و متغیرهای مربوط به رشد و تولید مثل کرمهای خاکی (در جدول ۵) نشان داده شده است. یک همبستگی مستقیم و قوی بین مقدار کاهش جامدات فرار و رشد کرمهای خاکی به چشم می خورد که نشانگر تجزیه بیشتر و سریع تر مواد آلی لجن توسط کرمهای خاکی و تبدیل آن به جرم زنده است، اما در مورد تولید مثل آنها این گونه نیست. در تحقیقات گذشته به اثبات رسیده که لجن بی هوای تازه برای کرمهای خاکی، سمی و کشنده است و دلیل اصلی آن نیز کمبود اکسیژن عنوان گردیده که کرمها نسبت به آن به شدت حساس هستند [۸].

نتایج بخش دوم این پژوهش که در جدول ۶ آمده است نیز نشان داد که لجن تازه بی هوای برای کرمها سمی بوده و تمامی آنها در هفته های اولیه به سرعت دچار مرگ و میر شدند. برای زنده

به ترتیب برای لجن خالص، مخلوط لجن با کاغذ، برگ سوزنی کاج، زائدات چمن زنی و خاک اره و بالاترین و پایین ترین تولید مثل را به ترتیب در مخلوط لجن با کاغذ و لجن خالص به دست آورده اند [۱۲]. نتایج به دست آمده در بخش اول این پژوهش، البته با توجه به این که این تحقیق در مقیاس پایلوت انجام شده است، مشابه با نتایج سایر پژوهشهای موجود در این زمینه بود که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد: کاهش ۳۰/۵۰ تا ۳۳/۳۰ درصد جامدات فرار لجن در مدت هشت هفته [۱۳]، ۴/۲۰ تا ۹/۱۷ درصد در مدت پنج هفته [۱۴]، ۲۸ درصد در چهار هفته [۱۵]، ۲۵ درصد در سه هفته [۱۶]، حداکثر ۱۰/۳ درصد و برای محصول نهایی ۶/۹۷ درصد بدون کاربرد کرمها و ۸/۲۰ درصد با کاربرد کرمها [۱۷]، هشت درصد در نه هفته [۱۸]، حداکثر کاهش ۲۶/۶۸ درصد در روش کمپوست کرمی در مقایسه با ۳۳/۴۸ درصد در روش ترکیبی کمپوست معمولی با کمپوست کرمی [۱۹].

جدول ۶- تغییرات مقادیر pH و جامدات خشک و فرار لجن بی‌هوازی و میزان بقای کرمهای خاکی

متغیر	تیمار	لجن بی‌هوازی	مخلوط لجن بی‌هوازی با کاغذ (جامدات خشک ۱۵٪)
مقدار جامدات فرار اولیه (درصد در جامدات خشک)		۷۹/۸۴ ± ۰/۱۵	۸۱/۳۵ ± ۰/۰۸
مقدار جامدات خشک اولیه (درصد)		۵/۰۲ ± ۰/۰۶	۱۵/۰۲ ± ۰/۰۶
pH اولیه		۵/۶۴ ± ۰/۰۲	۶/۴۲ ± ۰/۰۱
هفته مربوط به زنده ماندن تمام کرمها (هفته بقا)		۱۲	۸
مقدار جامدات فرار در هفته بقا (درصد در جامدات خشک)		۶۳/۵۳ ± ۰/۳۵	۶۷/۱۹ ± ۰/۲۶
مقدار جامدات خشک در هفته بقا (درصد)		۲۰/۸۰ ± ۰/۳۲	۲۴/۲۷ ± ۰/۳۴
pH در هفته بقا		۶/۴۴ ± ۰/۰۹	۶/۶۶ ± ۰/۰۲
کاهش جامدات فرار از مقدار اولیه تا مقدار مربوط به هفته بقا (درصد)		۲۰/۴۲ ± ۰/۳۴	۱۷/۴۰ ± ۰/۳۱
تعداد کرمهای زنده در هفته بقا		۴۹/۶۷ ± ۰/۳۳	۴۹/۶۷ ± ۰/۳۳
درصد کرمهای زنده در هفته بقا		۹۹/۳۳ ± ۰/۶۷	۹۹/۳۳ ± ۰/۶۷

تصفیه‌ای برای لجن هوازی نیاز نیست، در حالی که لجن بی‌هوازی نیازمند تجزیه و تثبیت مقدماتی قبل از شروع فرایند کمپوست کرمی است. در این تحقیق مقادیر کمی میزان تثبیت اولیه نیز مشخص گردید. همچنین بررسی کاربرد مواد حجم‌زا نشان داد که این مواد، اثرات قابل ملاحظه‌ای بر سرعت تثبیت لجن هوازی و رشد کرمها ندارند، بر روی تولید مثل (پبله‌گذاری) کرمهای خاکی اثر گذارند و در مقابل سبب بهبود چشمگیر شرایط لازم برای تثبیت لجن بی‌هوازی می‌گردند. با توجه به اینکه هدف اصلی پژوهش بررسی اثرات متقابل نوع مواد حجم‌زا و درصد جامدات خشک لجن بر تثبیت یا کاهش جامدات فرار لجن فعال هوازی بود، نتایج به‌دست آمده نشان داد هر کدام از دو عامل مذکور دارای اثرات خود به تنهایی هستند و اثرات متقابل معنی‌داری مشاهده نشد.

ماندن ۱۰۰ درصد کرمها، لازم بود که لجن قبل از وارد کردن کرمها و شروع فرایند کمپوست کرمی برای مدت چندین هفته تجزیه و تا حدودی تثبیت گردد لجن بی‌هوازی خالص هشت هفته و مخلوط لجن بی‌هوازی و کاغذ با جامدات خشک ۱۵ درصد ده هفته) و مقدار جامدات فرار آنها به ترتیب ۲۰/۴۲ و ۱۷/۴۰ درصد کاهش یابد. اختلاط لجن بی‌هوازی با کاغذ (ماده حجم‌زا) به دلیل بهبود شرایط هوازی سبب کاهش زمان لازم برای تثبیت مقدماتی لجن قبل از مناسب شدن آن برای کرمها گردد.

۵- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کمپوست کرمی روش مناسبی برای تثبیت لجن فاضلاب شهری محسوب می‌شود و هیچ نوع پیش

۶- مراجع

- 1- USEPA. (1994). *Sludge handling and disposal, composting*, 18th Ed., Federal Regulation, Washington.
- 2- Elvira, C., Goicoechea, M., Sampedro, L., Mato, S., and Nogales, R. (1996). "Bioconversion of solid paper-pulp mill sludge by earthworms." *J. of Bioresource Technology*, 57, 173-177.
- 3- Hartenstein, R. (1978). *The most important problem in sludge management as seen by a biologist*, In: R. Hartenstein(ed.) Utilization of Soil Organisms in Sludge Management. Natl. Tech. Info. Serv. PB 286 932, Springfield, Virginia.
- 4- Hartenstein, R., and Hartenstein, F. (1981). "Physicochemical changes effected in activated sludge by the earthworm *Eisenia. Foetida*." *J. of Environmental Quality*, 10 (13), 377-382.
- 5- Atiyeh, R. M., Dominguez, J., Subler, S., and Edwards, C. (2000). "Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia ander Bauche*) and the effects on seedling growth." *J. of Pedobiologia*, 44, 709-724.
- 6- Dominguez, J., Briones, M. J. I. (1997). "Effects of diet on growth and reproduction of *Eisenia Andrei (Oligochaeta, Lumbricidae)*." *Pedobiologia*, 41, 566-576.

- 7- Fair, G.M. and Geyer, J.C. (2002). *Water and wastewater engineering*, 3rd Ed., Wiley and sons, New York.
- 8- Edwards, C.A., and Bohlen, P.J. (1996). *Biology and ecology of earthworms*, Chapman and Hall, London.
- 9- Edwards, C.A. (1988). *Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms*, In: *Earthworms in waste and environmental management*, 1st Ed., SPB Acad. Pub, the Netherlands.
- 10- Ndegwa, P. M., and Thompson, S. A. (2001). "Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconcentration of biosolids." *J. of Bioresource Technology*, 76, 107-112.
- 11- Dominguez, J., and Edwards, C. A. (2004). *Soil zoology sustainable development in the 21st Century: A review*, 17th Ed., Research pub. Cairo.
- 12- Dominguez, J., Edwards, C.A., and Webster, M. (2000). "Vermicomposting of sewage sludge: Effects of bulking materials on the growth and reproduction of the earthworm *Eisenia Andrei*." *Pedobiologia*, 44, 24-32.
- 13- Frederickson, J., Butt, K.R., Morris, R.M., and Daniel, C. (1997). "Combining uermiculture with traditional Green Waste composting systems." *Soil Biology and Biochemistry*, 29 (3-4), 725-730.
- 14- Ndegwa, P. M., and Thompson, S. A. (2000). "Effects of C to N ratio on vermicomposting of biosolids." *J. of Bioresource Techonology*, 75, 7-12.
- 15- Neuhauser, E.F., Loehr, R.C., Malecki, M.R. (1988). *The potential of earthworms for managing sewage sludge*, In: Edwards, C. A. and Neuhauser, E. F. (eds.), *Earthworms in waste and environmental management*. SPB Academic Publishing BV, Hague.
- 16- Loehr, R. C., martin, J. H., Neuhauser, E. F., and Malecki, M. R.(1984). *Waste management using earthworms, engineering and scientific relationships*, Final report, Project ISP-8016764, National Science Foundation.
- 17- Ndegwa, P. M., Thompson, S. A., and Das, K. C. (2000). "Effects of stocking density and feeding rate on vermicopomsting of biosolids." *J. of Bioresource Technology*, 71, 5-12.
- 18- Parvaresh, A., Movahedian, H., and Hamidian, L.(2004). "Vermistabilization of municipal wastewater sludge with *Eisenia Foetida*." *Iranian J. Env. Health Sci. Eng*, 1(2), 43-50.
- 19- Alidadi, H., Parvaresh, A.R., Shahmansouri, M.R., Pourmoghadas, H., and Najafpoor, A.A.(2007). "Combined composting and vermicomposting process in the treatment and bioconversion of sludge." *Pakistan J. of Biological Sciences*, 10(21), 3944-3947.
- 20- Naddafi, K., Zamanzade, M., Azimi, A.A., Omrani, G.A., Mesdaghinia, A.R., and Mobedi, E. (2004). "Effect of temperature, dry solids and C/N ratio on vermicomposting of waste activated sludge." *Pakistan J. of Biological Sciences*, 7 (7), 1217-1220.