

از آنجایی که لجن فاضلاب شهری حاوی مقادیر زیادی مواد آلی و مغذی است، لذا می‌توان آن را به‌عنوان یک ماده غذایی مناسب برای تغذیه کرم‌های خاکی در فرایند تولید کمپوست کرمی مصرف نمود (Chandran 2010; Fazelipour et al. 2011; Takdastan et al. 2005).

ز زولی و همکاران در سال ۱۳۹۴ در مطالعه‌ای با عنوان بررسی تأثیر فضولات گاوی به‌عنوان عامل حجیم‌کننده بر غلظت فلزات سنگین در طی فرایند ورمی کمپوست لجن فاضلاب شهری نشان دادند که غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه با گذشت زمان در کلیه بسترها در حالت مخلوط لجن فاضلاب شهری با فضولات گاوی با نسبت ۵۰ درصد، کاهش بیشتری نشان داده است (Zozouli et al. 2015).

پروورش و همکاران در سال ۱۳۸۳ در مطالعه‌ای نشان دادند که در سوبسترای اولیه و ورمی کمپوست با مقادیر مواد آلی ورمی کمپوست، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، pH و نسبت C/N به‌ترتیب ۰/۳۶/۴۲، ۱/۰۴، ۱۱/۰/۶۲، ۷/۵ و ۲۲/۶۲ درصد می‌تواند اصلاح‌کننده آلی مناسبی برای بهبود حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی باشد (Parvaresh et al. 2004).

در پژوهشی در سال ۲۰۰۷ گزارش شد که علی‌رغم مرگ و میر زیاد، کرم خاکی می‌تواند فرایند تجزیه را فعال کرده و بنابراین در پالایش خاک آلوده به نفت با غلظت متوسط کل هیدروکربن نفتی (TPH) ($< 4000 \text{ mg/kg}$) به‌کار برده شود. محققان همچنین گزارش کردند که میزان تجزیه به‌گونه کرم خاکی وابسته است (Maiké & Filser 2007).

در پژوهش دیگری در سال ۲۰۰۷ افزایش فعالیت کاتابولیک میکربی ناشی از حضور *یزینیا فتیدا*^۵ دلیل حذف ۹۱ درصد (۱۰۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تا ۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) آلودگی نفت خام در ۵۶ روز تصفیه زیستی معرفی شد (Schaefer & Juliane 2007).

تکدستان و همکاران در سال ۱۳۹۴، در مطالعه‌ای نشان دادند که میزان TPH موجود در کنده حفاری واقع در میدان نفتی اهواز ۴۲/۰۰۴ گرم بر کیلوگرم بوده که در طول دو ماه فرایند بیوکمپوست به همراه لجن بیولوژیکی در نسبت اختلاط ۱ به ۱ به ۱۸/۷۷ گرم بر کیلوگرم رسیده است (Takdastan et al. 2015).

افزایش است و بسیاری از این ترکیبات جزء زائدات خطرناک سرطانزا محسوب می‌شوند (Sinha & Soni 2012; Takdastan & Eslami 2013; Mahmoudi et al. 2013).

چاه‌های نفت و گاز معمولاً تا اعماق زیادی حفاری می‌شوند که در اثر حفاری این چاه‌ها دو نوع پسماند حفاری تولید می‌شود که شامل کنده‌های حفاری و کنده‌های حفاری آغشته به سیال حفاری است. سیالات حفاری (که گل حفاری نیز نامیده می‌شوند) در کمک کردن به فرایند حفاری سازند قابل استفاده‌اند (Kardani & Takdastan 2013; Hajsardar et al. 2011; Takdastan & Pazoki 2011).

البته بعضی از انواع سیالات حفاری شامل هیدروکربن‌هایی است که ساختار عمده سیال حفاری را تشکیل می‌دهند. مدیریت پسماند حفاری روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را در بر می‌گیرد که از جمله فرایندهای بیولوژیکی (زیست پالایی)، می‌توان گیاه پالایی، تحریک بیولوژیکی، افزودن بیولوژیکی، پشته‌ای کردن و تل کردن، کودسازی و تهیه کمپوست و ورمی کمپوست را نام برد (Schafer et al. 2005; Hossein Panah & Takdastan 2015). ورمی کمپوست حاصل یک فرایند نیمه هوازی (حدود ۸۰ درصد رطوبت) است که توسط گونه خاصی از کرم‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومسیت‌ها انجام می‌پذیرد (Dendooven et al. 2011; Rajiv et al. 2009).

ورمی کمپوست، مواد حاصل از بستر رشد کرم بوده که پس از دفع شدن از سیستم گوارش کرم در محیط باقی می‌ماند. لذا این ماده مجموعه‌ای از فضولات کرم به‌همراه مواد آلی تجزیه شده و نیز اجساد کرم‌ها بوده که برای گیاه ارزش غذایی فراوانی دارد (Takdastan et al. 2015; Puada et al. 2012).

انواع کرم‌های خاکی که عموماً در فرایند تثبیت پسماندهای آلی شرکت دارند عبارت‌اند از: ۱- *یزینیا فوئتیدا*^۱ یا کرم قرمز یا کرم کمپوست ۲- *دندروئنا ونتا*^۲ - *لومبریکس روبلوس*^۳ - *لومبریکوس ترس تریس*^۴ (Ame et al. 2011; Zazooli et al. 2012; Rajive et al. 2012).

در فرایند تولید کمپوست کرمی از لجن فاضلاب، کرم‌های خاکی به‌عنوان عوامل بیولوژیکی تثبیت مواد آلی زائد مورد استفاده قرار می‌گیرند (Rouyanian et al. 2011; Pazoki et al. 2010; Takdastan et al. 2009).

¹ *Eisenia Foetida*

² *Dendrobaena Vanta*

³ *Lumbricus rubellus*

⁴ *Lumbricus Terrestris*

⁵ *E. Fetida*

تعداد ۵۰ عدد کرم خاکی/یزینیا فتیدا/ برای انجام فرایند ورمی کمپوست قرار داده شد. سپس به مدت ۱۰ روز، و روزی ۱ تا ۲ بار زیرو رو و هوادهی شد. این عملیات قبل از اولین نمونه برداری به منظور سازگاری کرم ها صورت پذیرفت.

۲-۲- روش های آزمایشگاهی

مدت زمان تجزیه در هر پایلوت ۲ ماه با ۲ تکرار بود و در طی این مدت دما، رطوبت و همچنین اختلاط همگن به صورت روزانه در حد بهینه کنترل شد و سپس نمونه برداری مرکب مکانی از توده صورت گرفته و نمونه ها به منظور بررسی های فیزیکی و شیمیایی طبق دستور کار به آزمایشگاه منتقل شد و عملیات فیزیکی و شیمیایی بر روی نمونه ها (EC، pH)، درصد جامدات فرار یا آلی، نسبت C/N، دما و TPH) انجام پذیرفت. به منظور صحت و دقت آنالیز، آزمایش ها در هر دو پایلوت دو بار تکرار شد که نتایج به دست آمده، میانگین حاصل از دو تکرار می باشد.

۲-۳- عملیات نمونه برداری و هضم نمونه ها

این مطالعه در ۵ زمان ماند (۱-۱۵-۳۰-۴۵-۶۰ روز) مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام آنالیزها از هر کدام از پایلوت ها مقداری نمونه برداشت شد و در کیسه زیپ دار نگهداری و سپس به منظور آنالیز به آزمایشگاه انتقال داده شد.

۲-۴- سنجش TPH

در این روش حدود ۱۰ تا ۲۰ گرم نمونه به وسیله محلول ۵۰:۵۰ هگزان دی کلرومتان در دستگاه سوکسله استخراج شد. استخراج در سوکسله به وسیله ۲۵۰ میلی لیتر از مخلوط هگزان/ دی کلرومتان صورت گرفته و سیکل سیفون حدود ۱۰ بار در طول ۸ ساعت بود. نمونه ها بعد از آماده شدن، با دستگاه کروماتوگرافی گازی که مجهز به آشکارساز FID مورد آنالیز شدند (EPA 1996). نوع دستگاه گاز کروماتوگرافی آجیلنت^۱ مدل ۶۸۹۰ ساخت آمریکا با ستون 1am HP-5MS-5% Phenyl silox استفاده شد. بازده استخراج TPH از محیط کننده حفاری با استفاده از

توجه به پیامدهای زیست محیطی ناشی از عملیات حفاری، استخراج و بهره برداری از مخازن نفت و گاز و ایجاد تمهیدات لازم در زمینه آن ها از اهمیتی خاص برخوردار است. از طرفی استفاده از مواد آلی نظیر لجن فاضلاب شهری در کشاورزی گسترش روز افزون دارد. با توجه به مطالب یاد شده، این مطالعه به منظور مقایسه فرایندهای کمپوست و ورمی کمپوست برای پالایش کننده حفاری میدان نفتی اهواز در حضور لجن بیولوژیکی انجام گرفت.

۲- مواد و روش ها

با توجه به اینکه هدف از پژوهش حاضر کاهش و حذف میزان TPH از کنده حفاری پایه روغنی با استفاده از لجن بیولوژیکی بوده است، با همکاری شرکت ملی حفاری ایران، چاه شماره ۴۰۲ (دکل ۸۱ فتح) با طول جغرافیایی ۲۸۸۸۶۵ و عرض جغرافیایی ۳۴۶۶۹۴ در سیستم UTM در میدان نفتی اهواز انتخاب شد.

۲-۱- تهیه لجن و کنده حفاری پایه روغنی

این مطالعه از نوع تجربی بود و در مقیاس پایلوت انجام شد. لجن تغلیظ شده مورد نیاز از تصفیه خانه فاضلاب چنوبیه واقع در غرب اهواز تهیه و آگیری شد. کنده حفاری پایه روغنی پس از انتقال از چاه شماره ۴۰۲ به منظور خالص سازی ناخالصی هایی نظیر سنگ، چوب و ریشه گیاه به آزمایشگاه سازمان حفاری منتقل و بر روی دستگاه شیکر قرار داده شد. پس از این مرحله کنده روغنی به آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز منتقل شد. سپس کنده حفاری پایه روغنی با لجن فاضلاب خروجی از هاضم به نسبت های یکسان برای فرایند ورمی کمپوست A و یک نسبت یکسان برای فرایند کمپوست B، همراه با مقدار مشخصی از خاک اره و زائدات باغبانی به منظور تعدیل نسبت کربن به ازت و ایجاد تخلخل بالا و تسهیل در عمل هوادهی توده مخلوط شد. نسبت بهینه کربن به ازت برای فرایند ورمی کمپوست و کمپوست بین ۱/۳۰-۲۰ بود. ترکیب حاصله در پایلوت هایی به ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی متری به منظور عملیات کمپوست و ورمی کمپوست کننده حفاری مورد استفاده قرار گرفت.

پایلوت A و B به ترتیب شامل ۳ کیلو کنده حفاری پایه روغنی به همراه ۳ کیلو لجن بیولوژیکی فاضلاب با اختلاط یکسان جهت انجام فرایند ورمی کمپوست و کمپوست استفاده شد. در پایلوت A

¹ Agilent Technology

۲-۳- میزان TPH حذف شده در طی فرایند ورمی کمپوست و کمپوست

با مقایسه دو پایلوت A و B مشاهده شد که روند تجزیه TPH در پایلوت A بیشتر از پایلوت B است. میزان غلظت باقیمانده TPH برای دو پایلوت A و B در پایان دوره به ترتیب برابر با ۱۱/۳۱ و ۱۸/۷۷ گرم بر کیلوگرم بود (شکل ۱).

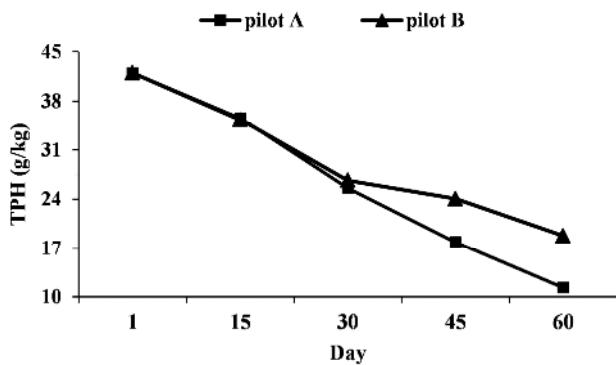


Fig. 1. Variations in TPH for the two A and B pilots throughout the degradation time

شکل ۱- تغییرات TPH موجود در کنده حفاری برای دو پایلوت A و B در طول زمان تجزیه

۳-۳- میزان تغییرات pH در طی فرایند ورمی کمپوست و کمپوست

همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می شود تغییرات pH در هر دو پایلوت ابتدا کاهشی و سپس تا حدودی افزایشی بود. در پایلوت B میزان اسیدیته محیط به میزان ۸/۲۵ و در پایلوت A به ۸/۲۰ رسید.

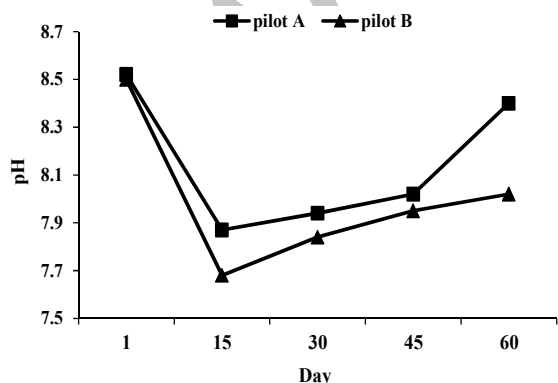


Fig. 2. Variations in pH for the two A and B pilots throughout the degradation time

شکل ۲- تغییرات pH برای دو پایلوت A و B در طول زمان تجزیه

ماده استاندارد TPH مطابق نمودار جریان فرایند ۹۰ درصد محاسبه شد.

برای تعیین مقدار کربن آلی از آزمون والکی-بلک^۱، برای تعیین مقدار ازت کل از روش کلدال^۲ و برای تعیین کل جامدات فرار (آلی) از روش گراویمتری^۳ استفاده شد (Schinner et al. 1995; Alef & Nannipieri 1995; USEPA 2001).

۲-۵- تحلیل آماری داده‌ها

برای برآورد حجم نمونه از روش full factorial و به منظور بررسی اختلاف میانگین‌ها در تیمارهای مختلف از نرم افزار SPSS نسخه ۱۷ و آزمون آماری ANOVA استفاده شد و سطح معنی داری معادل $p < 0.05$ در نظر گرفته شد و از آزمون LSD برای نشان دادن اختلاف معنی داری بین پارامترهای مختلف و نیز از آزمون SEM به منظور نشان دادن انحراف استاندارد میانگین استفاده شد. نرم افزار اکسل برای رسم نمودارها مورد استفاده قرار گرفت.

۳- نتایج

۳-۱- نتایج حاصل از تجزیه نمونه کنده حفاری پایه روغنی و لجن بیولوژیکی فاضلاب در جدول ۱ نتایج حاصل از تجزیه نمونه کنده حفاری از نوع پایه روغنی و لجن تغلیظ شده فاضلاب در شرایط آزمایشگاهی آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات کنده حفاری پایه روغنی و لجن تغلیظ شده فاضلاب

Table 1. Characteristics of the dewatered sewage sludge and pure (oil-based) drill cutting

Parameter	Pure drill cutting (oil-based)	Dewatered sewage sludge
pH	9.86	7.2
EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	82	4.5 \pm 0.06
Volatile or organic solids (Organic)(%)	14.32%	62%
C/N	125.4/1	5.6/1
TPH (g/kg)	93.323	---

¹ Walcky Black Test

² Kjeldal

³ Gravimetry

شکل ۴- تغییرات درصد جامدات فرار برای دو پایلوت A و B در طول زمان تجزیه

۳-۶- میزان تغییرات دما در طی فرایند ورمی کمپوست و کمپوست

میزان تغییرات دما طی دو ماه فرایند ورمی کمپوست و کمپوست مورد سنجش قرار گرفت. در هر دو پایلوت روند افزایش دما وجود داشت، ولی بیشترین افزایش دما در روز ۱۵ ام در پایلوت B به ۳۳ و در پایلوت A به ۳۱/۵ درجه سلسیوس رسید (شکل ۵).

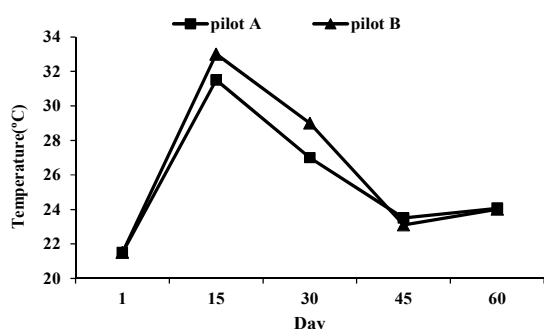


Fig. 5. Variation in temperature in pilots A and B pilots during the degradation period

شکل ۵- تغییرات دما برای دو پایلوت A و B در طول زمان تجزیه

۳-۷- میزان تغییرات نسبت کربن به ازت در طی فرایند ورمی کمپوست و کمپوست

در روز اول نسبت کربن به ازت در دو پایلوت A و B دارای مقدار یکسان و برابر ۲۱/۹ بود و همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می شود این نسبت در طی دو ماه فرایند تجزیه بیولوژیکی کاهش یافت به طوری که در روز ۶۰ ام به ۱۴/۰۲ و ۱۳/۲۸ در فرایند ورمی کمپوست و کمپوست به ترتیب رسید.

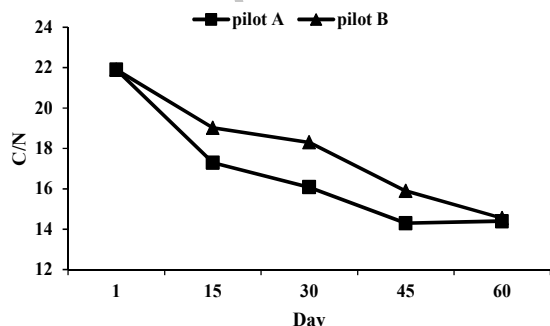


Fig. 6. Variation in C/N ratio in pilots A and B during the degradation period

۳-۴- میزان تغییرات EC در طی فرایند ورمی کمپوست و کمپوست

میزان تغییرات EC در هر دو پایلوت روندی افزایشی داشت و در پایان دو ماه در پایلوت A به ۱۶/۰۲ و در پایلوت B به ۱۵/۹۸ میکروزیمنس بر سانتی متر رسید (شکل ۳).

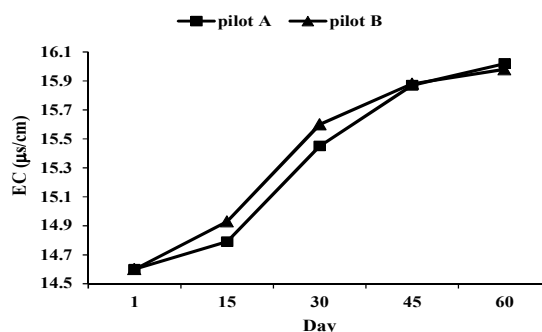


Fig. 3. Variations in EC for the two A and B pilots throughout the degradation time

شکل ۳- تغییرات EC برای دو پایلوت A و B در طول زمان تجزیه

۳-۵- میزان تغییرات جامدات آلی (فرار) در طی فرایند ورمی کمپوست و کمپوست

در روز اول میزان جامدات آلی در دو پایلوت A و B دارای مقداری یکسان و برابر با ۳۱/۳۰ درصد بود و با شروع فعالیت تجزیه، این میزان در هر دو پایلوت کاهش یافت (شکل ۴). ولی این کاهش در پایان دو ماه در پایلوت B به میزان جزئی کمتر از پایلوت A بود.

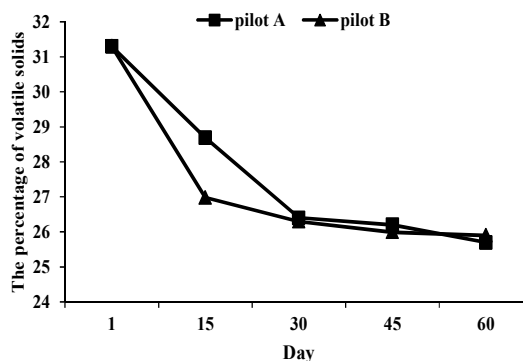
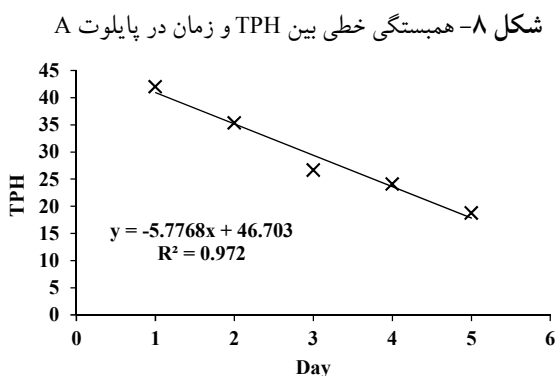


Fig. 4. Variation in percentage of volatile solids in pilots A and B during the degradation period

Fig. 8. Linear correlation between TPH and time in pilot A**Fig. 9.** Linear correlation between TPH and time in pilot B

شکل ۹- همبستگی خطی بین TPH و زمان در پایلوت B

در پایلوت B همبستگی خطی بین TPH و زمان برابر با $0/710$ بود و همبستگی معنی داری بین این دو پارامتر وجود داشت. آنالیز آماری نشان داد که بین روند کاهش TPH موجود در کنده حفاری مخلوط با لجن بیولوژیکی فاضلاب در دو پایلوت A و B در زمان تجزیه، همبستگی بالایی وجود دارد ($P < 0/05$). با مشاهده نتایج دو شکل های ۸ و ۹ می توان بیان نمود که پارامتر زمان تأثیر بسیار مناسبی بر روی تغییرات TPH در طی مدت زمان ۶۰ روز داشته است. به گونه ای که با افزایش زمان در طی ۶۰ روز میزان حذف TPH بیشتری را به دنبال داشته است و نتایج در هر دو پایلوت یک همبستگی معنی دار بین پارامتر زمان و تغییرات TPH نشان داده است.

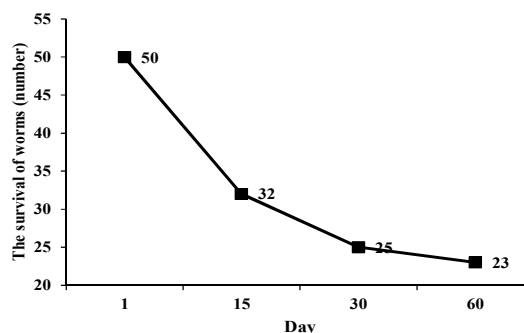
۴- بحث

این تحقیق نشان داد که طی فرایند کمپوست و ورمی کمپوست، با ادامه تثبیت مواد، از نظر نوع ماده کمپوست شونده و تعداد کرم /یزنیا فتید، مقدار TPH در کنده حفاری به میزان زیادی کاهش یافته است که این موضوع با نتایج سایر تحقیقات انجام شده در این خصوص مبنی بر کاهش TPH، مطابقت دارد (Takdastan et al. 2000; Callaham et al. 2002; Hickman & Reil 2008; Safwat et al. 2002; Salanitro et al. 1997; Schaefer et al. 2005; Shin & Kim 2001). اما اختلاف نتایج حاصله از این تحقیق با برخی تحقیقات مشابه و عدم تطابق نتایج، ناشی از اختلاف روش کار، تفاوت مشخصات نوع بستر (مواد اولیه مورد استفاده)، شرایط انجام

شکل ۶- تغییرات نسبت کربن به ازت برای دو پایلوت A و B در طول زمان تجزیه

۳-۸- میزان بقای کرم ها در طی فرایند ورمی کمپوست در پایلوت A

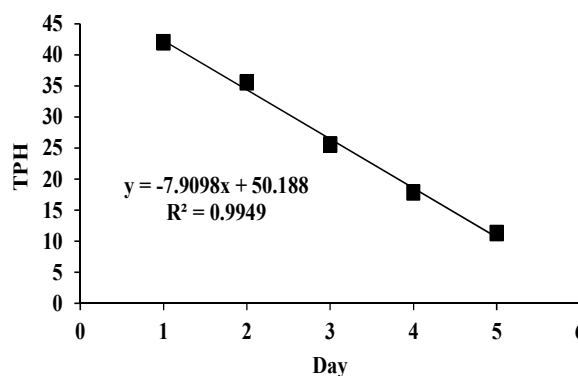
همانگونه که در شکل ۷ مشاهده می شود میزان بقای کرم ها در پایلوت A در طی دو ماه روندی کاهشی داشت و تعداد کرم ها از ۵۰ عدد در روز اول به ۲۳ عدد در روز ۶۰ کاهش یافت.

**Fig. 7.** Variation in worm survival rates in pilot A (vermicomposting) during the degradation period

شکل ۷- میزان بقای کرم ها برای پایلوت A (ورمی کمپوست) در طول زمان تجزیه

۳-۹- آزمون همبستگی بین TPH و زمان در دو پایلوت A و B در شکل های ۸ و ۹ نتایج همبستگی خطی بین TPH و زمان در دو پایلوت ورمی کمپوست و کمپوست مشاهده می شود.

آنالیز آماری نشان داد که در پایلوت A همبستگی خطی بین TPH و زمان برابر با $0/997$ است و بین روند کاهش TPH موجود در کنده حفاری مخلوط با لجن بیولوژیکی و زمان تجزیه، همبستگی بالایی وجود دارد.



پژوهشی با عنوان مدیریت زیست محیطی کنده‌های حفاری جهت حذف TPH با استفاده از لجن بیولوژیکی تصفیه‌خانه فاضلاب نشان داد که مقادیر پارامترهای کیفی کمپوست حاصل از کنده حفاری نظیر pH، جامدات آلی و TPH به ترتیب برابر با ۷/۴۸ و ۴۰/۹۷ درصد و ۱۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در طول زمان دو ماه تجزیه حاصل شد (Parchami et al. 2014). در حالی که در مطالعه حاضر میزان pH، جامدات آلی و TPH به ترتیب ۸/۲۵، ۲۵/۹ درصد و ۱۸/۷۷ گرم بر کیلوگرم در مدت زمان تجزیه ۶۰ روز حاصل شد که با مطالعه فوق مغایرت دارد. در مطالعه حاضر با مشاهده دو پایلوت A و B در شکل ۱ می‌توان چنین گفت که در پایلوت A به دلیل حضور کرم‌های خاکی علاوه بر باکتری و میکروارگانیسم‌ها میزان TPH با روند تجزیه و تخریب بیشتری نسبت به پایلوت B همراه بود به‌گونه‌ای که در روز اول میزان TPH برای پایلوت A و B برابر با ۴۲/۰۰۴ بود ولی در روز ۶۰ام این مقدار در پایلوت A به ۱۱/۳۱ گرم بر کیلوگرم و در پایلوت B به ۱۸/۷۷ گرم بر کیلوگرم کاهش یافت. همچنین در خصوص پایلوت B در مقایسه با پایلوت A همبستگی از نوع متوسط و منفی بود ولی شیب خط همبستگی در پایلوت A بیشتر از پایلوت B بود که این امر به علت فعالیت بالای میکروارگانیسم‌ها به ویژه باکتری‌ها به همراه کرم‌های خاکی در پایلوت A (لجن همراه با ورمی کمپوست) در مقایسه با پایلوت B (فقط کمپوست) بوده است. همچنین در پایلوت B بین زمان و TPH در سطح $P < 0.05$ همبستگی معنی‌داری دیده شد. روند pH در هر دو پایلوت کاهشی بوده است ولی در پایلوت B به دلیل حضور فقط باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌ها در مقایسه با پایلوت A (باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌ها و کرم‌ها) میزان اسیدیته محیط به میزان ۸/۲۵ و در پایلوت A به ۸/۲۰ رسید که علت این تفاوت به دلیل حضور و فعالیت بیشتر باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌ها و کرم‌ها در پایلوت A بوده است. همچنین شکل ۳ نشان می‌دهد که به دلیل حضور ورمی کمپوست در پایلوت A در مقایسه با پایلوت B که فقط لجن بیولوژیکی فاضلاب محتوی کمپوست بوده، میزان فعالیت باکتری‌ها و کرم‌ها بالاتر بوده و در نتیجه میزان EC در اثر تجزیه هیدروکربن‌های نفتی موجود در کنده حفاری پایه روغنی در پایلوت A نسبت به پایلوت B افزایش بیشتری داشته است. در ارتباط با پارامتر جامدات فرار و مقایسه آن در دو پایلوت A و B می‌توان بیان نمود که در روز اول میزان جامدات فرار (آلی) در هر

فرایند، مدت زمان مطالعه، تعداد، وزن، گونه و یا سایر ویژگی‌های کرم خاکی و متفاوت بودن نوع و میزان مواد کمپوست شونده و میکروارگانیسم‌های مصرف کننده مواد مورد مطالعه می‌باشد. در پژوهشی که ززولی و همکاران در مورد بررسی تأثیر فضولات گاوی بر غلظت فلزات سنگین در طی فرایند ورمی کمپوست لجن فاضلاب شهری انجام دادند به این نتیجه رسیدند که میزان غلظت فلزات سنگین کمپوست تولیدی کمتر از استانداردهای کمپوست درجه یک و دو کشور ایران، استانداردهای سازمان جهانی بهداشت^۱ و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا^۲ بوده است بنابراین، می‌توان از فضولات گاوی به‌عنوان عامل حجم‌کننده ارزان و فراوان برای تولید ورمی کمپوست در مخلوط با لجن فاضلاب شهری به کار گرفت (Zazouli et al. 2015). در پژوهشی در سال ۲۰۰۷ گزارش شد که علی‌رغم مرگ و میر بالای کرم خاکی در حضور ترکیبات نفتی، کرم خاکی می‌تواند فرایند تجزیه را فعال کرده و بنابراین در پالایش خاک آلوده به نفت با میانگین غلظت کل هیدروکربن نفتی (TPH) ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بکار برده شود. محققان همچنین گزارش کردند که میزان تجزیه به‌گونه کرم خاکی وابسته است (Maïke & Fisler 2007). مطالعه یاد شده با نتیجه به‌دست آمده در این تحقیق تا حدودی مغایرت دارد زیرا کرم‌های خاکی با وجود تلفات توانستند در پایلوت A که مخلوط کنده حفاری پایه روغنی با لجن خروجی از هاضم بود و دارای TPH اولیه ۴۲/۰۰۴ گرم بر کیلوگرم بود، دوام بیاورند و آن را به ۱۱/۳۱۶ گرم بر کیلوگرم برسانند (یعنی ۷۳/۰۶ درصد حذف TPH)، همچنین میزان بقای کرم‌های خاکی در طی دو ماه از ۵۰ به ۲۳ عدد کاهش یافت (یعنی ۴۶ درصد کاهش بقای کرم‌ها). Schaefer در مطالعه‌ای نشان داد که افزایش فعالیت کاتابولیک میکربی ناشی از حضور *بیزینیا فتیدا* موجب حذف ۹۱ درصد (۱۰۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تا ۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) آلودگی نفت خام در ۵۶ روز تصفیه زیستی می‌شود (Schaefer et al. 2007; Takdasatn et al. 2015; EPA 1996). این نتایج با نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر همخوانی ندارد زیرا در این تحقیق میزان ۷۳ درصد از TPH در مدت زمان دو ماه به‌وسیله کرم خاکی کاهش یافت. پرچمی در سال ۱۳۹۳، در

¹ World Health Organization (WHO)

² US. Environmental Protection Agency (USEPA)

و فعالیت کرم‌ها و میکروارگانیسم‌ها و باکتری‌ها شد در نتیجه تعدادی از کرم‌ها که قدرت تحمل کمتری داشتند از بین رفتند، اما در پایلوت کمپوست روند تجزیه در طی ۶۰ روز به وسیله میکروارگانیسم‌ها و باکتری‌ها انجام شده زیرا این پایلوت فاقد کرم خاکی بوده است.

در نتیجه می‌توان از تصفیه زیستی کننده حفاری مخلوط با لجن فاضلاب با فرایند ورمی کمپوست و کمپوست، به‌عنوان یک روش پالایش زیستی جهت کاهش هیدروکربن‌های نفتی از کننده حفاری استفاده کرد.

۴-۱- آزمون SEM و LSD برای پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده در پایلوت A و B

نتایج میانگین، انحراف استاندارد میانگین (SEM)، بالاترین و پایین‌ترین داده و معنی‌دار بودن اختلاف بین پایلوت A و B با استفاده از آزمون LSD جهت سنجش معنی‌داری اختلاف پایلوت‌ها، از نظر پارامترهای کیفی بررسی شده در جدول ۲ آمده است. نتایج آزمون LSD بین پایلوت A و B نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین پارامترهای pH، جامدات آلی (فرار)، دما، EC، TPH و نسبت C/N در دو پایلوت وجود دارد.

جدول ۲- آزمون SEM و LSD در خصوص پارامترهای کیفی

پایلوت A و B

Table 2. SEM and LSD tests for the quality parameters in pilots A and B

Pilot Type	Quality Parameters	A	B
	pH	8.15±0.11 8.20-8.52	8.05±0.14 8.25-8.50
	Percentage of volatile solids	27.65±1.04 25.70-31.30	27.29±1.01 25.90-31.30
	Temperature (°C)	25.51±1.73 21.50-24.07	26.12±2.12 21.50-24.01
	s/cm)μEC (15.34±0.28 14.60-16.02	15.39±0.27 14.60-15.98
	TPH (g/kg)	26.45±5.60 11.31-42.00	29.37±4.14 18.77-42.00
	C/N	16.79±1.39 14.40-21.90	17.93±1.27 14.55-21.90

The least data (P < 0.05)

۵- نتیجه‌گیری

دو پایلوت A و B دارای مقداری یکسان و برابر با ۳۱/۳۰ درصد بود و با شروع فعالیت تجزیه این میزان در هر دو پایلوت کاهش یافت. ولی این کاهش در پایان دو ماه در پایلوت B به میزان جزئی کمتر از پایلوت A بود که علت این کاهش به دلیل حضور فقط باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌ها در پایلوت B در مقایسه با پایلوت A (لجن بیولوژیکی همراه با ورمی کمپوست) بوده است. در نهایت در پایان روز ۶۰ درصد راندمان حذف جامدات فرار در پایلوت A و B به ترتیب به ۱۷/۸۹ و ۱۷/۲۵ درصد رسید که نشان‌دهنده تجزیه مواد آلی بیشتر و حذف هیدروکربن‌های نفتی بیشتر بوده است. همچنین مقایسه نتایج همبستگی بین دو پایلوت A و B که دارای نسبت یکسان بودند ولی پایلوت A از نوع ورمی کمپوست و پایلوت B از نوع کمپوست بود، همبستگی بالایی نشان داد. اما به دلیل وجود ورمی کمپوست در پایلوت A شیب خط همبستگی در پایلوت A بیشتر از پایلوت B (کمپوست) بود. همچنین در پایلوت A بین جامدات آلی و زمان، همبستگی معنی‌دار بود ولی در پایلوت B همبستگی معنی‌داری در سطح $P < 0.05$ مشاهده نشد.

روند افزایش دما در هر دو پایلوت وجود داشت که نشان‌دهنده فعالیت باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌ها بوده است. علت افزایش دمای بیشتر در پایلوت B نسبت به A به دلیل عدم حضور کرم‌ها بوده است، زیرا در پایلوت A کرم‌ها با تونل‌زنی و زیر و رو کردن خاک مانع از افزایش دمای زیاد می‌شوند. مطابق با شکل ۶ میزان نسبت کربن به ازت در پسماند حفاری مخلوط با لجن بیولوژیکی در حدود ۲۲ بوده که در محدوده بین ۲۰ تا ۳۰ به ۱ فرایند بیولوژیکی کمپوست و ورمی کمپوست می‌باشد (Zazouli et al. 2015).

در خلال فرایند ورمی کمپوست (پایلوت A) و کمپوست (پایلوت B) پس از مدت ۶۰ روز نسبت کربن به ازت به ترتیب به ۱۴/۰۲ و ۱۳/۲۸ رسید که نشان‌دهنده تجزیه بیولوژیکی توسط میکروارگانیسم‌ها در خلال فرایند بیولوژیکی کمپوست و ورمی کمپوست می‌باشد. در پایلوت ورمی کمپوست (A) در روز اول ۵۰ عدد کرم خاکی وجود داشت، که با توجه به اختلاط یکسان کننده حفاری با لجن تغلیظ شده فاضلاب، مشاهده شد که بعد از گذشت ۶۰ روز تنها ۲۳ عدد کرم در پایلوت باقی مانده‌اند (یعنی ۴۶ درصد کاهش در میزان بقای کرم‌ها)، که نامساعد بودن شرایط و وجود ماده بازدارنده رشد (TPH) در کننده حفاری پایه روغنی مانع از رشد

کمپوست و ورمی کمپوست در روز ۴۵ام و روز ۶۰ام دارای اختلاف معنی دار بود ($p < 0.05$). از طرفی نسبت C/N از مقدار اولیه ۲۱/۹ در توده مخلوط به ۱۴/۰۲ و ۱۳/۲۸ در پایان عملیات تجزیه ورمی کمپوست و کمپوست رسید و از طرفی جامدات فرار نیز از مقدار اولیه ۳۱/۳ درصد به ۲۵/۷ درصد و ۲۵/۹ درصد در پایان عملیات تجزیه ورمی کمپوست و کمپوست کاهش یافت. بنابراین پایلوت A در مقایسه با پایلوت B که حاوی کرم‌های خاکی بود، روند تجزیه و حذف بهتر و بالاتری را در کاهش جامدات فرار، نسبت C/N و TPH داشت. از طرفی آنالیز آماری نشان داد که بین روند کاهش جامدات فرار و TPH موجود در کنده حفاری مخلوط با لجن بیولوژیکی در دو پایلوت A و B در خلال زمان تجزیه، همبستگی بالایی وجود دارد ($P < 0.05$). جامدات فرار (جامدات آلی) به عنوان منبع کربن موجود در لجن بیولوژیکی برای مصرف میکروارگانیسم‌ها و کرم‌های موجود در پایلوت مورد استفاده قرار گرفت به طوری که در طول زمان تجزیه روند کاهشی داشته است.

مطالعه حاضر با هدف مقایسه کارایی فرایند ورمی کمپوست و کمپوست لجن فاضلاب به منظور سامان‌دهی و بی‌خطر سازی کنده حفاری در میدان نفتی اهواز انجام شد. در این تحقیق دو پایلوت A و B که دارای اختلاط یکسان ولی از دو نوع متفاوت بوده‌اند آماده شدند. پایلوت A از نوع ورمی کمپوست و پایلوت B از نوع کمپوست بدون کرم بود. روند تجزیه و حذف TPH و جامدات فرار در پایلوت A در طی ۶۰ روز، بهتر از پایلوت B بود که نشان‌دهنده حضور فعال کرم‌ها در کنار باکتری‌های هتروتروف و میکروارگانیسم‌های موجود در لجن بیولوژیکی بوده است که باعث رشد بیشتر و فعالیت بالای میکروارگانیسم‌ها از جمله باکتری‌ها شده و توانسته راندمان حذف بهتری را در طی مدت زمان تعیین شده برای پایلوت A ایجاد کند. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش مشاهده شد که بعد از ۶۰ روز میزان TPH در توده مخلوط از مقدار اولیه ۴۲/۰۰۴ گرم بر کیلوگرم به ۱۱/۳۱۶ و ۱۸/۷۷ گرم بر کیلوگرم به ترتیب در فرایند ورمی کمپوست و کمپوست در پایان عملیات تجزیه رسیده است. همچنین میزان TPH در دو پایلوت

References

- Alef, K., and Nannipieri, P., 1995, *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*, Academic Press, London.
- Ameh, A.O, Mohammed-Dabo, I.A., Ibrahim S., Ameh, J.B., Azienge, C.D. & Taninu, Y., 2011, "Earthworm survival in used engine oil contaminated soil spiked with manure", *International Journal of Biological & Chemical Sciences*, 5(3), 923-929.
- Callahan, M.A., Stewart, A.J, Alarcon, C. & McMillen, S.J., 2002, "Effects of earthworm (*Eisenia fetida*) and wheat (*Triticum aestivum*) straw additions on selected properties of petroleum contaminated soils", *Environmental Toxicology Chemistry*, 21(8), 1658-1663.
- Chandran, V., 2010, "Study of vermifiltration of fruit juice industry and petroleum industry wastewater and vermiremediation of soil contaminated by petroleum products using earthworms (*Eisenia fetida*)", 40 CP Research Project for the Fulfilment of Master Degree in Environmental Engineering, Griffith University, Australia.
- Dendooven, L., Alvarez-Bernal, D. & Contreras-Ramos, S.M., 2011, "Earthworms, a means to accelerate removal of hydrocarbons (PAHs) from soil? A mini-review", *Pedobiologia*, 54, 187-192.
- EPA., 1996, *Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) as gasoline and diesel SW-846 Method 8015B*, Revision 2, USA.
- Fazelipour, M., Takdastan, A. & Jou, M.S.S., 2011, "Survey on chlorine application in sequencing batch reactor waste sludge in order to sludge minimization", *Asian Journal of Chemistry*, 23(7), 2994-2998.
- Hajsardar, M., Takdastan, A., Ahmadi, M. & Hasani, A.H., 2011, "Study of reducing waste biosolids in sequencing batch reactor by ozonation to waste biosolids", *Asian Journal of Chemistry*, 23(8), 3615-3619.
- Hickman, Z.A. Reid, B.J., 2008, "Earthworm assisted bioremediation of organic contaminants", *Environment International*, 34, 1072-1081.

- Hosseini Panah, E. & Takdastan, A., 2015, "Feasibility of total petroleum hydrocarbon removal from drill cutting with digested sludge using earth worm", *Journal of Mazandaran University Medical Science*, 25(133), 319-324 (In Persian).
- Hosseini Panah, E., and Takdastan, A., 2015, "Feasibility of total petroleum hydrocarbons removal from drill cuttings with the process of biological sludge Biocompost", *International Conference on Environmental Science, Engineering and Technologies*, Tehran, Iran. (In Persian)
- Hosseini Panah, E., Takdastan, A. & Hosseini Alhashemi, A., 2014, "Check stabilization of sewage sludge by vermicompost with earthworms, especially Eisenia Foetida", *The First Conference of the New Electronic Environment and Ecosystems, Agriculture, Electronic, Renewable Energy and Environmental Research Institute of Tehran University*, Tehran, Iran. (In Persian)
- Illmer, P., Barbato, A. & Schinner, F., 1995, *Methods in soil biology*, Springer-verlag, Berlin.
- Kardani, M. & Takdastan, A., 2015, "Removal of total petroleum hydrocarbons using vetiveria zizanioides and microbial population changes in soil contaminated with oil in Ahvaz", *Journal of Mazandaran University of Medical Science*, 25(131), 87-97 (In Persian).
- Mahmoudi, P., Takdastan, A., Alavi, N., Mosavi, A.A.J. & Kaydi, N., 2013, "Study of excess sludge reduction in conventional activated sludge process by heating returned sludge", *Asian Journal of Chemistry*, 25(5), 2627-2630.
- Maike, S. & Filser, J., 2007, "The influence of earthworms and organic additives on the biodegradation of oil contaminated soil", *Applied Soil Ecology*, 36, 53-62.
- Opuada, A., Ali, I., Ibrahim, S., Ameh J.B., Azienge, C.D. & Tanimu, Y., 2012, "Effect of earthworm inoculation on the bioremediation of used engine oil contaminated soil", *International Journal of Biochemical & Chemical Sciences*, 6(1), 493-503.
- Parchami, P., Mafizholami, R. & Takdastan, A., 2014, "Environmental management of drill cuttings for removing TPH using wastewater treatment's biological sludge", *Second National Specialized Conference on Environmental Researches*, Hamadan, Iran. (In Persian)
- Parvaresh, A.A., Movahedian H. & Hamidian, L., 2004, "Survey of chemical quality and fertilizer value of vermicomposted municipal wastewater sludge", *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 15 No. 2 (50), 29-33. (In Persian)
- Pazoki, M., Takdastan, A. & Jaafarzadeh, N., 2010, "Investigation of minimization of excess sludge production in sequencing batch reactor by heating some sludge", *Asian Journal of Chemistry*, 22(3), 1751-1759.
- Rajiv, K., Chndran, V., Soni, B., Patel, U., & Ghosh, A., 2012, "Earthworms: Nature's chemical managers and detoxifying agents in the environment: An innovative study on treatment of toxic wastewaters from the petroleum industry by vermifiltration technology", *Environmentalist*, 32, 445-452.
- Rajiv, K., Herat, S., Bharambe, G. & Brahabhatt, A., 2009, "Vermistabilization of sewage sludge (biosolids) by earthworms: Converting a potential biohazard destined for landfill disposal into a pathogen-free, nutritive and safe biofertilizer for farms", Nathan Campus, Brisbane, QLD 4111.
- Rouyanian Firouz, Z., Takdastan, A., Jaafarzadeh Haghhighifard, N.A., & Sayyad G.A., 2011, "Feasibility of land treatment that removal of nitrogen and phosphor of chonaibeh wastewater treatment plant (Ahvaz)", *Asian Journal of Research in Chemistry*, 4 (4), 597-601.
- Safwat, H., Shakir, H. & Weaver, R.W., 2002, "Earthworm survival in oil contaminated soil", *Plant and Soil*, 240, 127-132.
- Salanitro, J.P., Dorn, P.B. & Huesemann, M.H., 1997, "Crude oil hydrocarbon bioremediation and soil ecotoxicity assessment. Environmental Sciences" *Technology*, 31, 1769-1776.
- Schaefer, M. & Juliane, F., 2007, "The influence of earthworms and organic additives on the biodegradation of oil contaminated soil", *Soil Ecology*, 53-62.

- Schaefer, M., Peterson, S.O. & Filser, J., 2005, "Effects of *Lumbricus chlorotica* and *Eisenia fetida* on microbial community dynamics in oil-contaminated soil", *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 2065-2076.
- Shin, K. & Kim, K., 2001, "Ecotoxicity monitoring of hydrocarbon-contaminated soil using earthworm (*Eisenia foetida*)", *Environmental Monitoring and Assessment*, 70, 93-103.
- Sinha, R.K. & Soni, B.K., 2012, "Experimental studies on treatment of petroleum-contaminated wastewater from automobile industry in Brisbane", Griffith University, Brisbane.
- Takdastan, A., Mehrdadi, N., and Torabian A., Azimi, A.A. & Nabi Bidhendi, Gh., 2009, "Investigation of excess biological sludge reduction in sequencing batch reactor", *Asian Journal of Chemistry*, 21(3), 2419-2427.
- Takdastan, A. & Eslami, A., 2013, "Application of energy spilling mechanism by para-nitrophenol in biological excess sludge reduction in batch-activated sludge reactor", *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4(1), 1-7. (In Persian).
- Takdastan, A. & Pazoki, M., 2011, "Study of biological excess sludge reduction in sequencing batch reactor by heating the reactor", *Asian Journal of Chemistry*, 23(1), 29-33.
- Takdastan, A., Azimi, A.A. & Jaafarzadeh, N., 2010, "Biological excess sludge reduction in municipal wastewater treatment by chlorine", *Asian Journal of Chemistry*, 22(3), 1665-1674.
- Takdastan, A., Hosseini Panah, E. & Neisi, A., 2015, "Survey of biological wastewater sludge biocompost for organizing and disinfecting of Khuzestan oil field drill cutting", *Journal of Environmental Health Engineering*, 3 (1), 51-60. (In Persian)
- Takdastan, A., Jaafarzadeh, N.A. & Alavi, N.A., 2005, "Physical, chemical and biological regulations and standards of compost", *Eighth National Conference of Environmental Health*, Tehran, Iran. (In Persian)
- Takdastan, A., Mehrdadi, N., Azimi, A. A., Torabian, A. & Nabi Bidhendi, G., 2009, "Investigation of intermittent chlorination system in biological excess sludge reduction by sequencing batch reactors", *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 6(1), 53-60. (In Persian).
- Takdastan, A., Mehrdadi, N., Torabian, A., Azimi, A.A. & Nabi Bidhendi, Gh, 2009, "Investigation of excess biological sludge reduction in sequencing batch reactor", *Asian Journal of Chemistry*, 21(3), 2419-2427.
- Takdastan, A., Movahedian, H. & Bina, B., 2000, "Survey of sludge indicator in Isfahan wastewater treatment plants and comparative with environmental standard", *Journal of Water and Wastewater*, 36, 18-24. (In Persian)
- Takdastan, A., Movahedian, H., Jaafarzadeh, N. & Bina, B., 2005, "The efficiency of anaerobic digesters on microbial quality of sludge in Isfahan and shahinshahr wastewater treatment plant", *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 2(1), 56-59. (In Persian)
- USEPA., 2001, Water Office of Science and Technology Engineering and Analysis Division (4303) 1200 Pennsylvania Ave. NW Washington, DC 20460 .Method 1684 Total, Fixed, and Volatile Solids in Water, Solids, and Biosolids, EPA-821-R-01-015.
- Zazouli, M.A., Bagheri Ardebilian, M., Ghahremani, E. & Ghorbanian Elaheabd, M., 2012, *Principles of compost production technology*, Khaniran Publisher, Tehran. (In Persian)
- Zazouli, M.A., Asgharnia, H., Yazdani Cherati, J., Ziaee Hezarjeribi, H., & Ahmadnezhad, A., 2015, "Evaluation of cow manure effect as bulking agent on concentration of heavy metals in municipal sewage sludge vermicomposting", *Journal of Mazandaran University of Medical Science*, 25(124), 152-169. (In Persian).
- Zohrehvand, F., Takdastan, A., Jaafarzadeh, N., Ramezani, Z., Ahmadi Angali, K., Gharibi, H., et al., 2014, "Assessment of lead contamination in vegetables, irrigation water and soil in farmlands irrigated by surface water in Ahvaz", *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 24 (118), 225-230. (In Persian)