



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

بررسی روند تغییرات کربن آلی، نیتروژن، فسفر و دما در فرایند کمپوست لجن های نفتی

علی کولیوند^{۱*}، کاظم ندادفی^۲، رامین نبی زاده^۳، احمد جنیدی جعفری^۴، مسعود یونسیان^۵، کامیار یغماپیان^۶، سیمین ناصری^۷

۱. (نویسنده مسئول): دکتری بهداشت محیط، استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران
۲. دکتری بهداشت محیط، استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۳. دکتری بهداشت محیط، استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: عملکرد فرایند کمپوست به عنوان یکی از روش های موثر تصفیه لجن های نفتی به عواملی همچون مواد مغذی و دما بستگی دارد. بنابراین لازم است که روند تغییرات این عوامل بررسی شوند. هدف از انجام مطالعه حاضر بررسی روند تغییرات کربن آلی، نیتروژن، فسفر و دما در فرایند کمپوست لجن های کف مخازن ذخیره نفت خام بود.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۱۷
تاریخ ویرایش: ۹۵/۰۴/۰۵
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۱۳
تاریخ انتشار: ۹۵/۰۹/۳۰

روش بررسی: در این مطالعه تجربی، لجن با پسماند تحت کمپوست به نسبت های ۱ به ۲، ۱ به ۴، ۱ به ۶، ۱ به ۸ و ۱ به ۱۰ مخلوط و با C/N/P اولیه ۱۰۰/۵/۱ به مدت ۱۰ هفته کمپوست شد. در طول زمان فرایند، اختلاط و تنظیم رطوبت توده ها ۳ بار در روز انجام شد. نمونه برداری و آنالیز نمونه های کربن آلی، نیتروژن و فسفر بصورت هفتگی و دما بصورت روزانه انجام گرفت.

واژگان کلیدی: کمپوست درون محفظه ای، لجن نفتی، مواد مغذی، دما

یافته ها: نتایج نشان دادند که میزان کاهش مقادیر کربن آلی، نیتروژن و فسفر در هفته های ابتدایی فرایند زیاد و به مرور کمتر شد. نسبت های C/N و C/P در انتهای فرایند کمپوست به ترتیب از نسبت ۲۰:۱ و ۱۰۰:۱ به نسبت ۲۶:۱ و ۱۶۶:۱ افزایش یافت. علاوه بر این، دمای راکتورها در طول دوره زمانی فرایند در محدوده مزوفیلیک قرار داشت.

نتیجه گیری: الگوی مشابه کاهش مقادیر کربن آلی، نیتروژن و فسفر در راکتورهای کمپوست نشان دهنده کاهش فعالیت بیولوژیکی دخیل در تجزیه و مصرف هیدروکربن های نفتی در هفته های انتهایی فرایند است.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
akulivand@yahoo.com

مقدمه

نگهداری طولانی مدت نفت خام در مخازن ذخیره پالایشگاهی سبب می‌شود به مرور زمان مقدار زیادی لجن نسبتاً جامد در کف آنها تشکیل شود. این لجن نفتی موجود در کف مخازن ذخیره نفت حاوی مقادیر زیادی هیدروکربن‌های نفتی است (۳-۱). هیدروکربن‌های موجود در این نوع لجن از نظر فاکتورهای هم‌چون تجزیه‌پذیری زیستی و فراریت دارای خصوصیات کاملاً متفاوتی هستند (۴، ۵). تخلیه و دفع عمدی یا سهوی این لجن‌های نفتی به زمین خطرات بزرگی را برای محیط زیست و سلامت انسان‌ها به وجود می‌آورد. بنابراین می‌بایست با روش‌ها و فرایندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن را تصفیه و بی‌خطر نمود (۶، ۷). با توجه به استانداردهای سختگیرانه امروزی، فرایندهای کارآمدی همچون کمپوست می‌تواند به عنوان یک گزینه قابل قبول جهت تصفیه و بی‌خطرسازی این لجن‌ها استفاده شود (۸، ۹).

در فرایند کمپوست مواد آلی در شرایط کنترل شده توسط میکروارگانیسم‌ها مصرف شده و به مواد تثبیت شده و نسبتاً بی‌اثری تبدیل می‌شوند که برای محیط زیست خطرناک نیستند (۱۰، ۱۱). هزینه پایین سرمایه‌گذاری و راهبری، طراحی و بهره‌برداری آسان و حذف رضایت بخش آلودگی‌های نفتی از جمله مزیت‌های فرایند کمپوست است (۱۲، ۱۳). مطالعات مختلف نشان داده است که فرایند کمپوست در حذف و تجزیه بیولوژیکی مواد و ترکیبات خطرناکی مثل هیدروکربن‌های نفتی موثر است (۴، ۱۴). در کمپوست به روش درون محفظه‌ای که در آن فرایند در درون یک مخزن انجام می‌شود، امکان تنظیم بهینه شرایط کمپوست (دما، اکسیژن، رطوبت، مواد مغذی، نسبت اختلاط و pH) وجود دارد. بنابراین زمان واکنش کوتاه‌تر، هزینه کمتر، کنترل بو و امکان جابجایی و کاربرد در محل از مهم‌ترین مزایای این روش است (۱۴، ۱۵). برای انجام مطلوب فرایند کمپوست، لازم است عناصری مثل کربن، نیتروژن و فسفر در غلظت‌ها و نسبت‌های مناسب در اختیار میکروارگانیسم‌ها قرار گیرد (۱۶). میکروارگانیسم‌های دخیل

در فرایند کمپوست، جهت تامین انرژی و مواد مورد نیاز در ساخت سلول‌های جدید به این عناصر نیاز دارند (۱۷، ۱۸). بنابراین نسبت C/N/P (کربن به نیتروژن به فسفر) یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در فرایند کمپوست لجن‌های نفتی است که کاهش یا افزایش آن سبب کاهش راندمان فرایند می‌شود. در اثر ازدیاد کربن، تجزیه مواد آلی کاهش می‌یابد و در نتیجه کمبود نیتروژن و فسفر مقدار زیادی از باکتری‌ها از بین می‌روند. علاوه بر این، در صورت بالا بودن نسبت C/N، سمیت ناشی از اسیدهای آلی ایجاد می‌شود و اگر نسبت C/N پایین باشد، سمیت ناشی از آمونیاک اتفاق می‌افتد (۱۹، ۲۰). طول دوره زمانی لازم برای تصفیه لجن‌های نفتی بسته به میزان نسبت C/N/P متغیر است. در مراجع مختلف نسبت‌های C/N/P متفاوتی ارائه گردیده است، اما بیشتر آنها این نسبت را برابر با ۱۰۰/۵/۱ گزارش کرده‌اند (۲۱، ۲۲).

در ایران به عنوان یکی از بزرگ‌ترین کشورهای نفت‌خیز در دنیا، سالانه مقادیر زیادی از این نوع لجن‌های نفتی تولید می‌شود که با روش‌های مختلفی همچون فرایند کمپوست می‌توان آن را تصفیه نمود. از این رو لازم است که روند تغییرات عوامل موثر بر فرایند کمپوست مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و کمبود مطالعات مرتبط در این خصوص، تحقیق حاضر با هدف بررسی روند تغییرات کربن، نیتروژن، فسفر و دما در فرایند کمپوست درون محفظه‌ای لجن‌های کف مخازن ذخیره نفت خام انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه تجربی، لجن‌های کف مخازن ذخیره نفت خام از یکی از پالایشگاه‌های نفت تهران و پسماند تحت کمپوست از یکی از کارخانه‌های کمپوست شهر تهران تهیه شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده از پالایشگاه و کارخانه کمپوست پس از انتقال به آزمایشگاه، خرد و الک شدند تا اندازه آنها برای فرایند کمپوست مناسب باشد. پس از آن، نمونه‌ها با نسبت‌های اختلاط (لجن به پسماند تحت کمپوست) برابر با

یافته‌ها

در جدول ۱ خصوصیات پسماند تحت کمپوست و نمونه لجن نشان داده شده است.

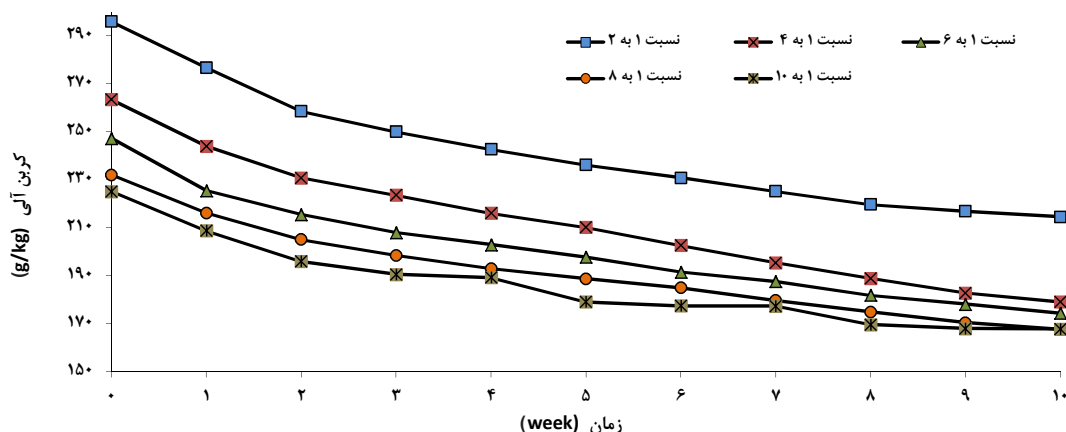
در نمودارهای ۱ تا ۳ روند تغییرات کربن آلی، نیتروژن و فسفر نشان داده شده است. همانطور که نشان داده شده است الگوی تغییرات هر سه پارامتر تقریباً مشابه بود. روند تغییرات کربن به نیتروژن، کربن به فسفر و نیتروژن به فسفر در نمودارهای ۴ تا ۶ نشان می‌دهد که هر سه نسبت در طول مدت فرایند کمپوست روند افزایشی داشتند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی-شیمیایی نمونه پسماند تحت کمپوست و لجن نفتی

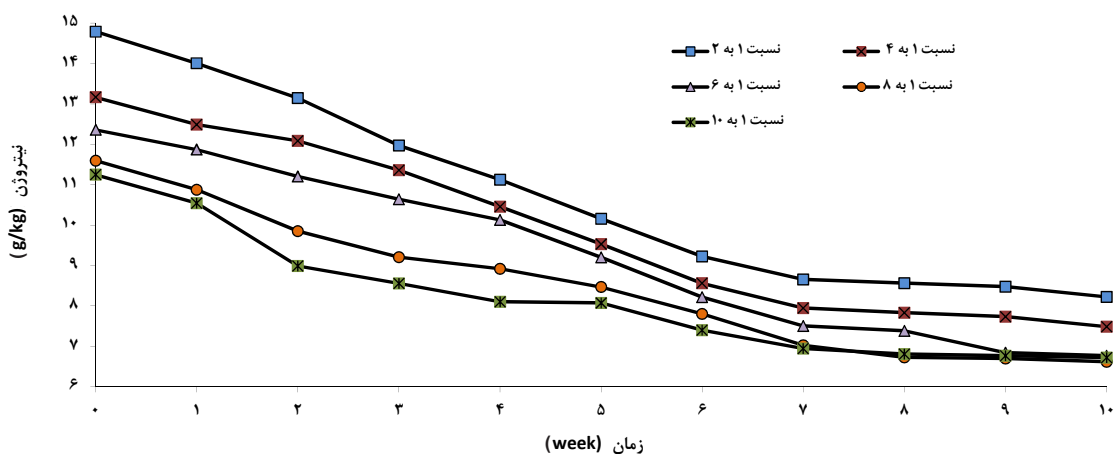
پارامتر	واحد	پسماند تحت کمپوست	لجن نفتی
کربن آلی	g/kg	۲۶۹/۷۸	۳۷۴/۱۷
نیتروژن	g/kg	۱/۴۹	۱/۵۰
فسفر	g/kg	۲/۴۶	۱/۱۳
میزان رطوبت	درصد	۴۰/۸۵	۶/۱۰
pH	-	۷/۴۶	۶/۸۹

۱ به ۲، ۴ به ۱، ۶ به ۱ و ۸ به ۱ با یکدیگر مخلوط شدند. میزان C/N/P در هر یک از نسبت‌ها با استفاده از NH_4Cl (برای تنظیم نیتروژن) و KH_2PO_4 (برای تنظیم فسفر) برابر با ۱۰۰/۵/۱ تنظیم گردید. میزان رطوبت توده مواد مورد واکنش در حدود ۵۵ درصد تنظیم و در طول زمان واکنش نیز بطور مداوم اندازه‌گیری شد و در صورت کاهش با اضافه کردن آب (۳ بار در روز) میزان آن تنظیم گردید. به منظور تامین اکسیژن و ایجاد شرایط هوازی، هوا توسط یک پمپ از پایین به درون توده دمیده شد. جهت جلوگیری از لایه لایه و سخت شدن توده مورد کمپوست و همچنین یکنواخت کردن آن، عملیات اختلاط و همزدن توده به صورت دستی بطور مداوم ۳ بار در روز انجام گرفت. این شرایط در راکتورهای کمپوست به مدت ۱۰ هفته برقرار شد تا مخلوط لجن و پسماند تحت کمپوست در معرض فعالیت و تجزیه میکروبی قرار بگیرند.

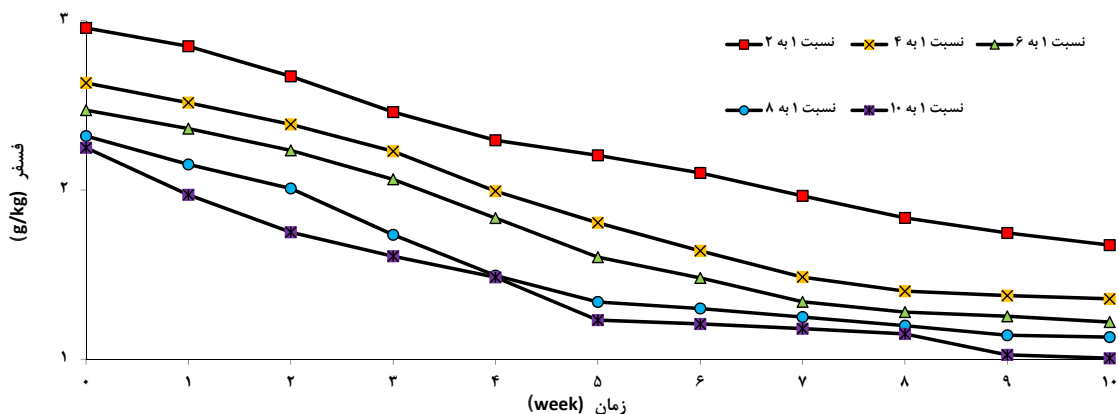
نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌های نیتروژن، فسفر و کربن آلی هفته‌ای یک بار به ترتیب با روش‌های کجلدال (۲۳)، رنگ سنجی (۲۳) و سوزاندن نمونه‌ها (۲۴) انجام شد. دمای راکتورهای کمپوست هم به صورت روزانه اندازه‌گیری و ثبت شد. جهت تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق از نرم افزارهای SPSS و Excel استفاده شد.



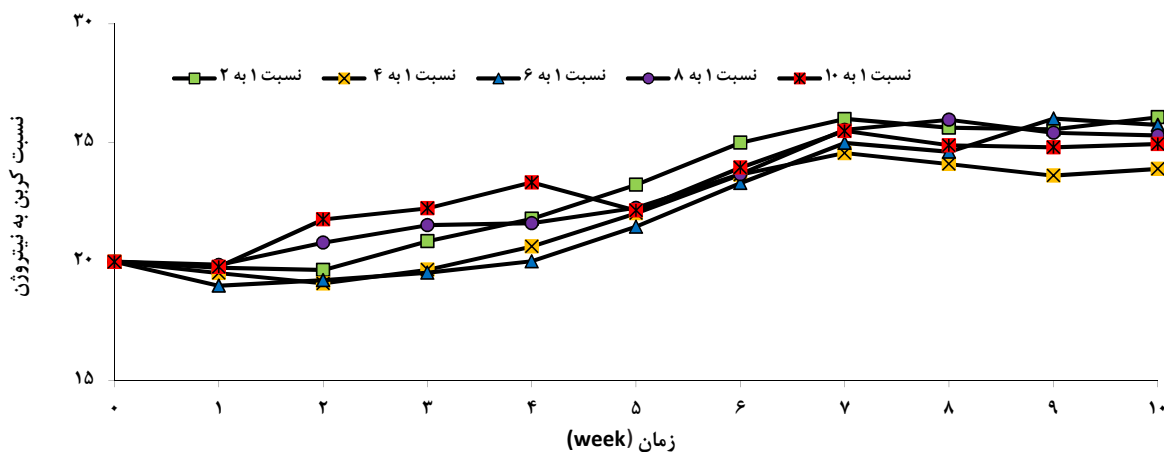
نمودار ۱- روند تغییرات کربن آلی در راکتورهای کمپوست



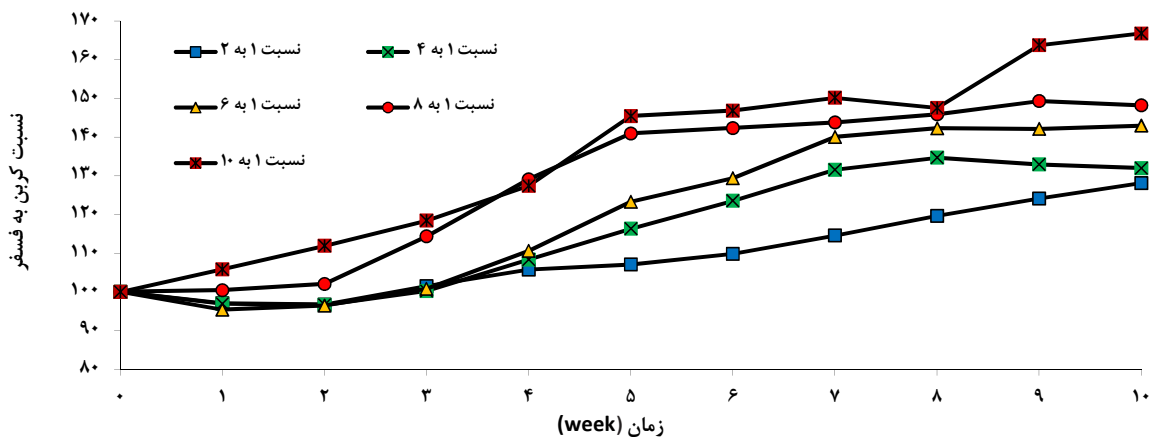
نمودار ۲- روند تغییرات نیتروژن در راکتورهای کمپوست



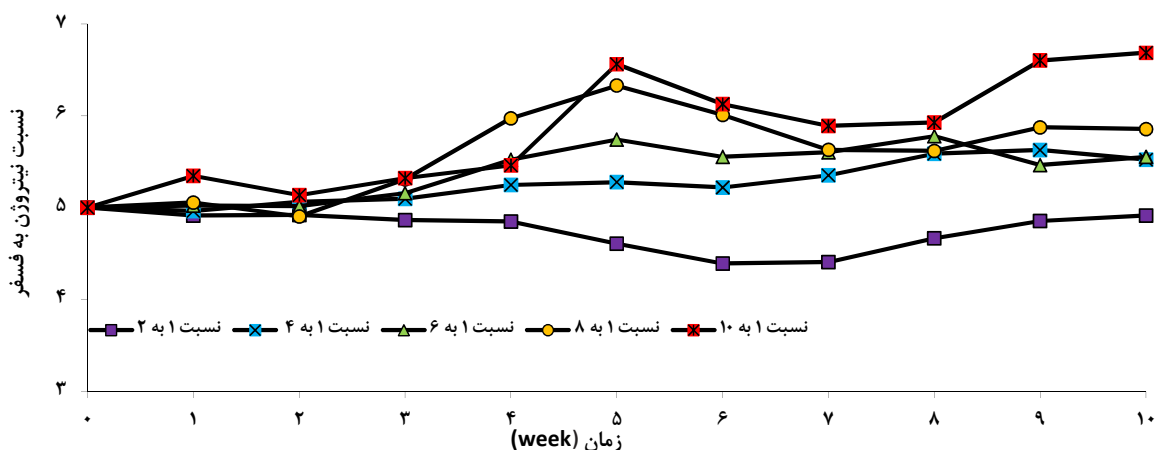
نمودار ۳- روند تغییرات فسفر در راکتورهای کمپوست



نمودار ۴- روند تغییرات نسبت کربن به نیتروژن در راکتورهای کمپوست



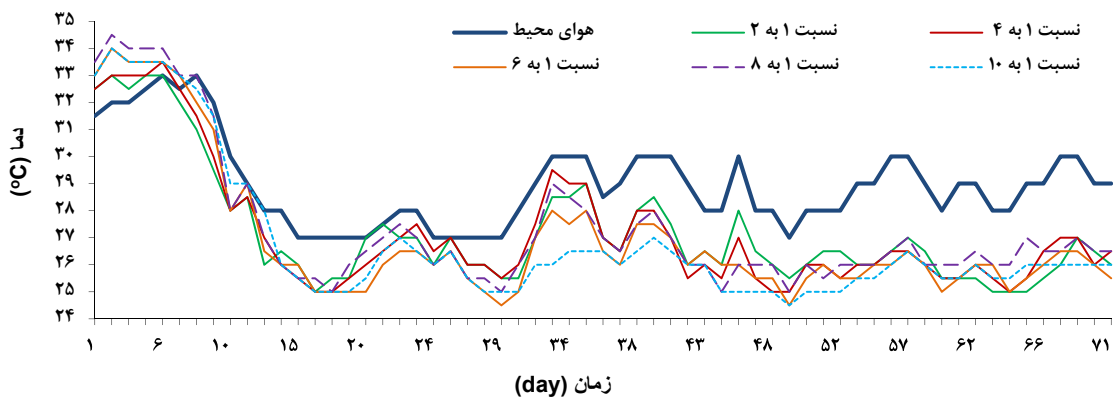
نمودار ۵- روند تغییرات نسبت کربن به فسفر در راکتورهای کمپوست



نمودار ۶- روند تغییرات نسبت نیتروژن به فسفر در راکتورهای کمپوست

می شود دمای کلیه راکتورهای در زمان انجام واکنش های بیولوژیکی در محدوده مزوفیلیک قرار داشتند.

در نمودار ۷ تغییرات دمای هوای محیط و همچنین دمای راکتورهای کمپوست نشان داده شده است. همانطور که مشاهده



نمودار ۷- روند تغییرات دما در راکتورهای کمپوست

بحث

پایین بودن میزان کربن آلی نمونه‌های پسماند تحت کمپوست (۲۶۹/۷۸ g/kg) (جدول ۱) احتمالاً این است که پسماند وارد شده به کارخانه کمپوست تهران، عمدتاً به شکل پسماند مخلوط بوده و همراه با پسماندهای غذایی، اجزای دیگری همچون شیشه، پلاستیک و فلزات به فرایند کمپوست مربوطه (از نوع ویندرو) وارد می‌شود. علاوه بر این، با توجه به اینکه که نمونه‌ها از هفته سوم فرایند کمپوست برداشت شدند و در مدت این ۳ هفته بخشی از کربن آلی موجود توسط میکروارگانیسم‌ها مصرف و تجزیه شده بود، بنابراین کربن آلی نمونه‌ها کاهش یافته بود. نتایج (نمودار ۱) نشان داد که میزان کاهش کربن آلی راکتورهای کمپوست در هفته‌های ابتدایی فرایند زیاد و به مرور کمتر شد. با توجه به این که بخش عمده کربن آلی سنجش شده مخلوطی از کربن آلی پسماند تحت کمپوست و کربن آلی لجن نفتی بود و بخشی از هیدروکربن‌های نفتی از نوع غیر قابل تجزیه بیولوژیکی هستند بنابراین به مرور از سرعت تجزیه کاسته می‌شود. حضور کربن آلی سهل‌المصرف، در تجزیه و مصرف هیدروکربن‌های نفتی توسط میکروارگانیسم‌ها بسیار موثر است. مواد سهل‌المصرف باعث تکثیر اولیه میکروارگانیسم‌ها جهت حمله به هیدروکربن‌های نفتی می‌شود و دی‌اکسید کربن حاصل از اکسیداسیون این ترکیبات ممکن است تاثیر مفیدی در آغاز نمودن فعالیت باکتری‌های اکسیدکننده هیدروکربن‌های نفتی داشته باشد. بنابراین افزودن مقداری مواد آلی با کربن آلی سهل‌المصرف در محیط کشت، مصرف هیدروکربن‌های نفتی توسط باکتری‌ها را سرعت می‌بخشد (۱۴).

به دلیل اینکه در کارخانه کمپوست تهران، عملیات تنظیم نسبت‌های C/N و C/P انجام نمی‌شد، بنابراین نسبت‌های C/N و C/P در پسماند تحت کمپوست مورد استفاده نامناسب و به ترتیب برابر با ۱۸۱ به ۱ و ۱۱۰ به ۱ بود. بنابراین در مطالعه حاضر، پس از اختلاط لجن با کمپوست نسبت C/N/P برابر با ۱۰۰/۵/۱ تنظیم شد. برای اینکه

عمل تجزیه و تثبیت هیدروکربن‌های نفتی به خوبی انجام گیرد، باید نسبت کربن، نیتروژن و فسفر متناسب باشد. در غیر این صورت، در اثر ازدیاد کربن تجزیه مواد آلی کاهش می‌یابد و در نتیجه کمبود نیتروژن و فسفر هم مقدار زیادی از باکتری‌ها از بین می‌روند (۲۱). Chaillan و همکاران برای بررسی اثر مواد مغذی به این نتیجه رسیدند که افزایش این نسبت از ۱۰۰/۵/۱ به ۱۰۰/۱۰/۱ ارتباط مستقیمی با شدت فعالیت بیولوژیکی ندارد (۲۵). Rebeka و همکاران نیز با بررسی تجزیه بیولوژیکی هیدروکربن‌ها در نسبت‌های مختلف C/N/P به این نتیجه رسیدند که افزودن نیترات و فسفات در نسبت‌های بالاتر از ۱۰۰/۵/۱ تاثیر بر سرعت معدنی شدن هیدروکربن‌های نفتی ندارد (۲۶). روند تغییرات نیتروژن و فسفر در راکتورهای کمپوست به شکلی بود که غلظت آنها با گذشت زمان کاهش داشت. الگو و میزان این کاهش در همه راکتورها تقریباً به یک شکل و مشابه با روند کاهش کربن آلی بود. در اینجا نیز همچون کربن آلی، سرعت کاهش و مصرف نیتروژن و فسفر در هفته‌های انتهایی کمتر از هفته‌های ابتدایی فرایند بود که نشان‌دهنده کاهش فعالیت بیولوژیکی دخیل در تجزیه و مصرف هیدروکربن‌های نفتی بود. این نتایج با یافته‌های مطالعه Antizar-Ladislao و همکاران (۲۷) مطابقت دارد. با وجود مصرف و کاهش کربن آلی موجود، افزایش نسبت‌های C/N و C/P در طول فرایند کمپوست (نمودارهای ۵ و ۶) نشان از این داشت که میزان مصرف نیتروژن و فسفر بیشتر از مصرف کربن آلی است. همان طور که مشاهده می‌شود نسبت C/N در راکتورهای کمپوست از مقدار اولیه ۲۰ به ۱ تا ۲۶ به ۱ نیز افزایش داشت. در رابطه با افزایش نسبت C/P نیز همین شرایط حاکم بود، به طوریکه حداکثر مقدار آن به ۱۶۶ به ۱ هم رسید. نسبت N/P به استثنای راکتور ۱ به ۲ در بقیه راکتورها افزایش داشت. افزایش نسبت N/P نشان می‌دهد که میزان مصرف و کاهش فسفر تا حدودی بیشتر از نیتروژن بود. نتایج یافته‌های Antizar-Ladislao و همکاران نیز تایید کننده

حداکثر دمای راکتورهای بیولوژیکی کمپوست در این مطالعه به ترتیب برابر با ۲۴، ۲۶/۳ و ۳۲ °C بود که در محدوده مناسبی قرار داشت که در تطابق با نتایج Coulon و همکاران است (۱۹). انتظار بر این است که در شرایط مقیاس کامل و کمپوست از نوع ویندرو دمای توده‌ها افزایش یابد. این افزایش دما از یکسو باعث افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها شده و از سوی دیگر دسترسی بیولوژیکی هیدروکربن‌های نفتی را افزایش می‌دهد. در نهایت پیشنهاد بر این است که پایش دقیقی سیستم بیولوژیکی موجود در فرایند کمپوست درون محفظه‌ای و بررسی تاثیر سایر عوامل موثر بر فرایند در مطالعات دیگر مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه گیری

الگوی مشابه کاهش غلظت کربن آلی، نیتروژن و فسفر در راکتورهای کمپوست با گذشت زمان نشان دهنده کاهش فعالیت بیولوژیکی دخیل در تجزیه و مصرف هیدروکربن‌های نفتی در هفته‌های انتهایی است. افزایش نسبت‌های C/N و C/P حاکی از این است که میزان مصرف نیتروژن و فسفر بیشتر از مصرف کربن آلی است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "بررسی کارایی فرایند تلفیقی کمپوست درون محفظه‌ای و اکسیداسیون شیمیایی با پراکسید هیدروژن و فتون در حذف کل هیدروکربن‌های نفتی از لجن‌های کف مخازن ذخیره نفت خام" در مقطع دکتری تخصصی (Ph.D) بود که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران اجرا شد. بدینوسیله از کلیه کارکنان و پرسنل محترم گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

نتایج حاصل از مطالعه حاضر در خصوص افزایش نسبت‌های C/P، C/N و N/P است (۲۷).

همان‌طور که در نمودار ۷ نشان داده شده است، دمای راکتورها در روزهای ابتدایی فرایند بالاتر از دمای محیط بود و با گذشت زمان به مرور دمای راکتورها به دمای محیط نزدیک شده و از روز ششم به بعد کم‌تر از آن شد. هر چه زمان پیش می‌رفت این اختلاف بیشتر شده و در روزهای انتهایی فرایند این اختلاف دما به حدود ۳ °C هم رسید. در طی عملیات تثبیت لجن، با مصرف مواد آلی، انرژی مورد نیاز سوخت و ساز و سنتز سلولی فراهم می‌شود که این کار با تولید انرژی و گرما همراه است. با گذشت زمان و کاهش درصد مواد آلی در دسترس میکروارگانیسم‌ها از میزان رشد و تکثیر آنها کاسته شده و دما نیز کاهش می‌یابد. در این مطالعه به علت حجم کوچک راکتورهای کمپوست، انجام هوادهی و مرطوب بودن مخلوط، دمای راکتورها تا حد زیادی متاثر از دمای محیط (که در محدوده مزوفیلیک قرار داشت) بود. دما از طریق اثر بر روی طبیعت فیزیکی و ترکیب شیمیایی نفت و سرعت کاتابولیسم هیدروکربن‌ها، بر میزان پالایش زیستی آلودگی‌های نفتی تاثیر می‌گذارد. با افزایش دما و در محدوده ۳۰ تا ۴۰ °C، متابولیسم هیدروکربن‌ها افزایش یافته و باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌های بسیاری در این محدوده قادر به رشد و تجزیه بیولوژیکی هیدروکربن‌ها هستند. از طرفی افزایش درجه حرارت شرایط را برای رشد میکروارگانیسم‌های ترموفیلیک فراهم و سبب افزایش روند مصرف مواد آلی نیز خواهد شد. اما در دماهای بسیار بالا نیز به دلیل اثرات سمی هیدروکربن‌ها روی غشاء میکروارگانیسم‌ها، تجزیه آلودگی‌های نفتی کاهش می‌یابد (۲۷). از سوی دیگر برخی محققین گزارش کرده‌اند که حذف هیدروکربن‌های نفتی در دمای ۲۰-۱۰ °C نیز به خوبی انجام می‌شود. با وجود این، حذف بیولوژیکی آلودگی‌های نفتی در دماهای کمتر از ۸ °C محدود می‌شود، زیرا در دماهای پایین فعالیت کاتالیستی آنزیم‌های تجزیه‌کننده مواد نفتی تا حد زیادی کاهش می‌یابد (۱۹). حداقل، میانگین و

منابع

- Gallego JL, Garcia-Martinez MJ, Llamas JF, Belloch C, Pelaez AI, Sanchez J. Biodegradation of oil tank bottom sludge using microbial Consortia. *Biodegradation*. 2007;18:269-81.
- Koolivand A, Nadaffi K, Nabizadeh R, Jonidi Jafari A, Nasser S, Yunesian M, et al. Application of hydrogen peroxide and fenton as pre- and post-treatment steps for composting of bottom sludge from crude oil storage tanks. *Petroleum Science and Technology*. 2014;32:1562-68.
- Nabizadeh R, Naddafi K, Jonidi Jafari A, Yunesian M, Koolivand A. Pretreatment of bottom sludge of crude oil storage tanks using chemical oxidation process with hydrogen peroxide and Fenton. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2015;7(3):327-38 (in Persian).
- Kriipsalu M, Nammari D. Monitoring of biopile composting of oily sludge. *Waste Management and Research*. 2010;28:395-403.
- Xu Y, Lu M, He F, Li Y. Removal of bioremediation residues by vegetable oil extraction and slurry phase biotreatment. *Petroleum Science and Technology*. 2011;29:684-94.
- Zhang X, Liu X, Wang Q, Chen X, Li H, Wei J, et al. Diesel degradation potential of endophytic bacteria isolated from *Scirpus triquetar*. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2014;87:99-105.
- Rodrigo J, Boltes K, Esteve-Núñez A. Microbial-electrochemical bioremediation and detoxification of dibenzothiophene-polluted soil. *Chemosphere*. 2014;101:61-65.
- Nadaffi K, Nabizadeh R, Jonidi Jafari A, Yaghmaeian K, Koolivand A. Efficiency of chemical oxidation of composted sludge of crude oil using hydrogen peroxide and Fenton. *Arak Medical University Journal*. 2014;16(81):75-86 (in Persian).
- Nadaffi K, Nabizadeh R, Nasser S, Yaghmaeian K, Koolivand A. Efficiency of in-vessel composting process in removal of petroleum hydrocarbons from bottom sludge of crude oil storage tanks. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2016;8(3):263-74 (in Persian).
- Silva-Castro GA, Rodelas B, Perucha C, Laguna J, González-López J, Calvo C. Bioremediation of diesel-polluted soil using biostimulation as post-treatment after oxidation with Fenton-like reagents: assays in a pilot plant. *Science of the Total Environment*. 2013;445:347-55.
- Suja F, Rahim F, Taha MR, Hambali N, Razali MR, Khalid A, et al. Effects of local microbial bioaugmentation and biostimulation on the bioremediation of total petroleum hydrocarbons (TPH) in crude oil contaminated soil based on laboratory and field observations. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2014;90:115-22.
- Feng L, Zhang L, Feng L. Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil amended with sewage sludge compost. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2014;95:200-207.
- Lu M, Zhang Z, Qiao W, Wei X, Guan Y, Ma Q, et al. Remediation of petroleum-contaminated soil after composting by sequential treatment with Fenton-like oxidation and biodegradation. *Bioresource Technology*. 2010;101:2106-13.
- Koolivand A, Nadaffi K, Nabizadeh R, Nasser S, Jonidi Jafari A, Yunesian M, et al. Biodegradation of petroleum hydrocarbons of bottom sludge from crude oil storage tanks using in-vessel composting. *Toxicological & Environmental Chemistry*. 2013;95(1):101-109.
- Koolivand A, Nadaffi K, Nabizadeh R, Nasser S, Jonidi Jafari A, Yunesian M, et al. Degradation of petroleum hydrocarbons from bottom sludge of crude oil storage tanks using in-vessel composting followed by oxidation with hydrogen peroxide and Fenton. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2013;15:321-27.
- Yu Y, Zhang W, Chen G, Gao Y, Wang J. Preparation of petroleum-degrading bacterial agent and its application in remediation of contaminated soil in Shengli Oil Field, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2014;21(13):7929-37.
- Koolivand A, Nabizadeh R, Yari A. Trend of Changes of temperature, pH and nutrients in the in-vessel composting of oily sludge pre-treated with hydrogen peroxide and Fenton. *Journal of Guilan University of Medical Sciences*. 2016; 24(96): 97-106 (in Persian).

18. Zhang Y, Guan Y, Shi Q. Simulating the dynamics of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) in contaminated soil through composting by COP-Compost model. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015; 22(4): 3004-12.
19. Coulon F, Pelletier E, Gourhant L, Delille D. Effects of nutrient and temperature on degradation of petroleum hydrocarbons in contaminated sub-antarctic soil. *Chemosphere*. 2005;58:1439-48.
20. Long YY, Zhang C, Du Y, Tao XQ, Shen DS. Enhanced reductive dechlorination of polychlorinated biphenyl-contaminated soil by in-vessel anaerobic composting with zero-valent iron. *Environmental Science and Pollution Research*. 2014;21(6):4783-92.
21. Chafneau CH, Rougeux G, Yepremian C, Oudot J. Effects of nutrient concentration on the biodegradation of crude oil and associated microbial populations in the soil. *Soil Biology & Biochemistry*. 2005;37:1490-97.
22. Szule A, Ambrożewicz D, Sydow M, Ławniczak Ł, Piotrowska-Cyplik A, Marecik R, et al. The influence of bioaugmentation and biosurfactant addition on bioremediation efficiency of diesel-oil contaminated soil: Feasibility during field studies. *Journal of Environmental Management*. 2014;132:121-28.
23. APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
24. TMECC. *Test Methods for the Examination of Composting and Compost*. USA: USDA and US Composting Council; 2002.
- 25- Chaillan F, Chaîneau CH, Point V, Saliot A, Oudot J. Factors inhibiting bioremediation of soil contaminated with weathered oils and drill cuttings. *Environmental Pollution*. 2006;144:255-65.
26. Rebekka RE, Semple T, Killham K. The potential for anaerobic mineralization of hydrocarbon constituents of oily drill cuttings from the North Sea seabed. *Journal of Environmental Monitoring*. 2002;4:553-57.
27. Antizar-Ladislao B, Lopez-Real JM, Beck AJ. Laboratory studies of the remediation of polycyclic aromatic hydrocarbon contaminated soil by in-vessel composting. *Waste Management*. 2005;25:281-89.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Investigating the Trend of Changes of Organic Carbon, Nitrogen, Phosphorus, and Temperature During Oily Sludge Composting Process

A Koolivand^{1*}, K Naddafi², R Nabizadeh², A Jonidi Jafari³, M Yunesian², K Yaghmaiean², S Naseri²

1. Assistant Professor of Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran

2. Professor of Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3. Professor of Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 5 April 2016
Revised: 25 June 2016
Accepted: 3 July 2016
Published: 20 December 2016

Key words: In-vessel composting, Oily sludge, Nutrient, Temperature

***Corresponding Author:**
akulivand@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objective: The performance of in-vessel composting process, as one of the most effective methods of oily sludge treatment, depends on factors such as nutrients and temperature. Therefore, it is crucial to investigate the trend of changes of these factors. The aim of the present study was to investigate the trend of changes of organic carbon, nitrogen, phosphorus, and temperature during the composting of bottom sludge of crude oil storage tanks.

Materials and Methods: The sludge was mixed with the immature compost at the various ratios of sludge to compost including 1:2, 1:4, 1:6, 1:8, and 1:10 with the initial C/N/P of 100/5/1 and then was composted for a period of 10 weeks. The process of mixing and moisture adjustment of the mixtures was done 3 times a day during the composting period. Sampling and analysis were performed every week for organic carbon, nitrogen, and phosphorus and every day for temperature.

Results: The research indicated that the concentrations of organic carbon, nitrogen, and phosphorus were decreased sharply during the first weeks of the process and then they were decreased gently. At the final stage of the composting, the ratios of C/N and C/P increased from 20:1 and 100:1 to 26:1 and 166:1, respectively. In addition, the temperature of the reactors was kept in the mesophilic range during the process period.

Conclusion: The similar trend of decrease of organic carbon, nitrogen, and phosphorus in the composting reactors is an indication of decreasing the activity of the microorganisms involved in petroleum hydrocarbons degradation.