

بررسی عملکرد روش دفن نیمه هوازی پسماندهای شهری

مهدی احمدی فر^۱، مجید سرتاج^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - محیط زیست، دانشگاه صنعتی اصفهان

Email:Mahmadifar60@gmail.com

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

(0311) 391-3822, Email: msartaj@cc.iut.ac.ir

چکیده

استفاده از مراکز دفن بهداشتی در کشورهایی که زمین کافی در اختیار دارند رایج ترین روش برای دفع پسماندهای شهری است. این روش معایبی از قبیل تولید مقدار زیاد شیرابه، هزینه‌های بالای تصفیه شیرابه، طولانی بودن مدت پایدار شدن زباله (چند دهه)، آلودگی آب‌های زیر زمینی بر اثر فرسودگی لایه‌های پوشش مرکز دفن، هزینه‌های بالای کنترل در طول عمر مرکز دفن را در بردارد. محل دفن بیوراکتور روشی نوین در دفن پسماندهای شهری است. از میان فن آوری‌های بکار رفته در محل‌های دفن بیوراکتور برای بهبود تجزیه بیولوژیکی پسماندها، کنترل رطوبت به روش بازچرخانی شیرابه از سایرین موثرتر و عملی تر بوده است. در این تحقیق به بررسی کارایی محل‌های دفن بیوراکتور از نوع نیمه هوازی پرداخته شده است. این روش در مقایسه با روش های هوازی نیاز به صرف انرژی به منظور هوادهی نداشته و اقتصادی تر می باشد. در این تحقیق زباله در ستونی با طول و عرض ۰٫۵ متر و ارتفاع ۱ متر با چگالی 550 Kg/m^3 پر شد. شیرابه زباله بصورت روزانه از زباله ها عبور داده شد. پارامتر های کیفی شیرابه اعم از COD، TSS، TDS، TS، pH و همچنین دمای پایلوت در زمان های مناسب اندازه گیری شد. در این تحقیق، راندمان تصفیه پذیری COD شیرابه در اثر بازچرخانی در پایلوت نیمه هوازی ۹۳ درصد اندازه گیری شد. راندمان حذف TSS (کل مواد معلق)، TDS (کل مواد محلول) و TS (کل مواد) در نیمه هوازی به ترتیب ۸۱، ۶۸ و ۶۹ درصد اندازه گیری شد. با استفاده از محل‌های دفن نیمه هوازی با بازچرخانی شیرابه، علاوه بر تسریع در پایدار شدن پسماندهای درون محل دفن، می‌توان شیرابه را نیز تا حدود زیادی تصفیه نمود.

مقدمه

امروزه با رشد شهرنشینی در شهر های بزرگ و همچنین افزایش سرانه تولید زباله شهری به علت صنعتی شدن جوامع، جمع آوری و دفع پسماندهای شهری به یکی از مهمترین مقوله های مدیریت جامع پسماندهای شهری تبدیل شده است. دفع پسماندهای شهری از طریق دفن در محل‌های مناسب یکی از بهترین و مقرون به صرفه ترین روش‌ها برای کشورهایی است که زمین کافی در اختیار دارند. در یک محل دفن بهداشتی فرآیند های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی موجب تجزیه مواد آلی پسماندهای موجود در آن می‌شود [Warith et al., 2005].

هر محل دفن در دورانی که فاز پرشدن خود را می‌گذراند، بارها در معرض بارش‌های جوی قرار می‌گیرد. به آن قسمت از این بارش‌ها که در تماس با زائادات قرار می‌گیرند (به‌علاوه رطوبت موجود در زائادات) شیرابه گفته می‌شود که به مرور و با تجزیه بیشتر پسماندها، میزان آلودگی شیرابه خروجی افزایش می‌یابد. تولید شیرابه در تمام مدت بهره برداری از محل دفن زباله و نیز مدت ها پس از بهره برداری ادامه دارد. ترکیب و مقدار شیرابه زباله به عوامل زیادی از جمله کیفیت و روش‌های دفن

زباله و میزان تراکم آنها، عمر محل دفن، پروسه های بیوشیمیایی و فیزیکی تجزیه زباله، رطوبت و قابلیت جذب توسط زباله، میزان بارش، رطوبت و تبخیر، توپوگرافی منطقه، هیدرولوژی و پوشش گیاهی بستگی دارد.

به منظور جلوگیری از آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی شیرابه محل دفن بهداشتی جمع آوری و با صرف هزینه های زیاد تصفیه می گردد. از طرف دیگر از دست دادن رطوبت توسط پسماندها به شکل شیرابه که عامل مهمی در تجزیه مواد آلی بشمار می رود، محل دفن را به یک مدفن خشک تبدیل کرده که مواد در آن حدود ۲۰۰-۳۰۰ سال دست نخوده باقی می ماند و فرسودگی لایه های عایق کف (Liner) در این مدت طولانی منجر به نشت شیرابه از محل دفن و آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی را در پی دارد [Warith et al., 2005].

وجود مشکلات زیاد محل های دفن بهداشتی، محققان را به فکر طراحی محل های دفن پیشرفته تر انداخت. محل های دفن بیوراکتور، از نوع محل های دفن بهداشتی است که مشخصاً از فرآیندهای مربوط به میکروارگانیسم ها به منظور تبدیل و پایدار نمودن پسماندهای آلی تجزیه پذیر در زمان کوتاه بوسیله تسریع در تجزیه میکروبی بهره می گیرد [Pacey et al., 1999]. ایده اصلی این گونه محل های دفن توسط پولند در اواخر دهه ۱۹۷۰ داده شد [Pohland, 1975].

محل های دفن بیوراکتور را می توان بر اساس شرایط محیطی ایجاد شده برای میکروارگانیسم ها به هوازی، بی هوازی و نیمه هوازی تقسیم بندی نمود [Interstate Technology & Regulatory Council, 2006]. در یک محل دفن هوازی اکسیژن یا هوای حاوی اکسیژن بوسیله چاههای افقی یا عمودی به توده پسماند تزریق شده تا فعالیت میکروارگانیسم های هوازی را تقویت نموده و پایداری پسماند را تسریع کند. معادله ۱ تجزیه هوازی ترکیبات آلی را نشان می دهد [Peirce, et al., 1997].



اما در یک محل دفن بیوراکتور از نوع بی هوازی، تجزیه بیولوژیکی در غیاب اکسیژن منجر به تولید گاز در محل دفن می شود. به منظور کاهش اثرات گلخانه ای، گازهای تولید شده در یک محل دفن که درصد قابل توجهی از آن را متان تشکیل می دهد، جمع آوری نموده و به مصرف فرآیندهای تولید انرژی می رسانند. معادله ۲ تجزیه بی هوازی در یک محل دفن و محصولات عمده آن را نشان می دهد [Tchobanoglous et al., 1993].



در هر دو محل دفن به صورت بیوراکتور هوازی و بی هوازی، بازچرخانی شیرابه باعث افزایش مقدار رطوبت پسماندها و همچنین توزیع و تامین مواد مغذی و آنزیم ها بین میکروارگانیسم ها می شوند [Sponza and Agdag, 2004]. عمده ترین مشکل محل های دفن بهداشتی طولانی شدن زمان پایداری پسماند می باشد. در محل های دفن بیوراکتور به منظور تسریع در فرآیندهای بیولوژیکی، چندین تکنیک خاص مانند تنظیم pH، خرد کردن پسماندها، افزودن لجن فاضلاب، کمپوست اولیه و افزودن آنزیم توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار رطوبت یکی از عوامل مهمی است که روی میزان و سرعت تجزیه پسماندهای آلی اثر دارد. رایج ترین گزینه جهت تامین رطوبت پسماندها که در تحقیقات زیادی مورد بررسی قرار گرفته، بازچرخانی شیرابه در محل دفن می باشد. بازچرخانی شیرابه باعث توزیع بهتر مواد آلی، به حداقل رسیدن میزان کمبود در مواد مغذی، ایجاد تماس بهتر بین مواد نامحلول و مواد مغذی محلول و میکروارگانیسم ها، رقیق سازی سموم احتمالی و انتقال حرارت می شود. در نتیجه فعالیت میکروارگانیسم ها افزایش می یابد. علاوه بر این بازچرخانی شیرابه امکان تصفیه در جای شیرابه که باعث کاهش هزینه ها می شود را فراهم می کند. افزایش نرخ تولید گاز متان که این امر استفاده از انرژی محل دفن را اقتصادی می کند از دیگر مزایای این روش می باشد.

تانزند و همکاران آثار بازچرخانی شیرابه بر روی تثبیت پسماندهای محل دفنی واقع در کالیفرنیا بین سالهای ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۳ مورد بررسی قرار دادند. شیرابه توسط یک استخر نفوذی به داخل محل دفن بازچرخانی می‌شد. ناحیه ای از محل دفن در شرق این استخرها بدون هیچ گونه بازچرخانی شیرابه رها شد تا به عنوان محوطه کنترل باشد. نتایج نشان داد که چرخش شیرابه به شکل قابل توجهی میزان رطوبت موجود در پسماندهای محل دفن را افزایش می‌دهد و شرایط را برای تثبیت بیولوژیکی مناسب نگه می‌دارد. همچنین نتایج تحلیل نشست نشان داد که در ناحیه نزدیک به استخرهای نفوذی میزان نشست پسماندها، حدود ۱ متر (۵/۶۵ درصد از نظر کاهش حجمی) بوده و حداقل کاهش ضخامت پسماندها به میزان ۰/۷ متر (۳/۸۲ درصد کاهش حجم) در ناحیه ای رخ داده که از استخرهای بازچرخانی شیرابه دور بودند [Townsend et al., 1996].

کلینک و هام نشان دادند که درصد رطوبت موجود در پسماندها و حرکت رطوبت، متغیرهای جداگانه ای هستند که روی میزان تولید متان در محل دفن تاثیرگذارند. آنها مشاهده کردند که حرکت رطوبت در بستر پسماندها در مقایسه با همان میزان رطوبت با حداقل حرکت، باعث افزایش نرخ تولید متان به میزان ۲۵ تا ۵۰ درصد شد [Klink, Ham, 1982]. چاگ و همکاران نرخ های مختلف بازچرخانی شیرابه معادل ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ از حجم اولیه پسماندهای در راکتور را بررسی کردند و نشان دادند که حرکت رطوبت به شکل قابل توجهی میزان تولید متان را افزایش می‌دهد [Chugh et al., 1998].

بازچرخانی شیرابه باعث کاهش غلظت فلزات در شیرابه می‌شود. بنظر می‌رسد که مکانیزم‌های مخصوص حذف فلزات در مراحل اولیه مواردی مانند ته نشین شدن سولفید و هیدروکسید باشند. بازچرخانی شیرابه باعث ایجاد شرایط خنثی یا بالاتر از خنثی برای شیرابه می‌شود. همچنین شرایط واکنش های احیائی را بوجود می‌آورد که باعث احیای سولفید و سولفات می‌شوند [Gould et al., 1989].

برخی محققان مطالعاتی روی پتانسیل دفع مشترک محل‌های دفن بیوراکتور و پسماندهای خطرناک غیرآلی با افزودن شیرابه و بازچرخانی در محل سایت انجام داده‌اند. راینهارت و همکارانش در پژوهش های خود دریافتند که بیوراکتورها حذف آلاینده های خطرناک را با جداکردن مواد آلی فرار از طریق افزایش تولید گاز، بهینه کردن شرایط برای تجزیه بیولوژیکی و تحریک حرکت آلاینده ها در مسیر تبدیل به خاک تسهیل می نمایند [Reinhart et al., 2002].

پولند و کیم گزارش کردند که اثر بارهای مخلوط پسماندهای خطرناک آلی و غیرآلی روی تجزیه بی‌هوازی را می‌توان با تضعیف آنها از طریق افزودن شیرابه و بازچرخانی منظم آن خنثی کرد. آنها پیشنهاد کردند از طریق اجرای طرح های آبی و ساخت و بکار انداختن پروتکل‌های متناسب با یافته های آزمایشات شبیه سازی شده، افق کاربرد محل‌های دفن بیوراکتور را به روش های دفع مشترک واد زائد خطرناک آلی و غیر آلی بسط داد [Pohland and Kim, 1999].

اخیراً علاقه روزافزونی به افزودن اکسیژن به داخل محل‌های دفن در جهت ساخت بیوراکتورهای هوازی و نیمه هوازی بوجود آمده است. از آنجائیکه تجزیه غیرهوازی مواد آلی در محل‌های دفن باعث تولید گازهای حاوی متان CH_4 و CO_2 می‌شود، از اینرو مقرون به صرفه ترین جایگزین برای کاهش انتشارات متان از پسماندها، تجزیه هوازی آن است.

«روش فوکوکا» (یک نوع محل دفن نیمه هوازی) یکی از اینگونه تلاش‌ها برای بهبود تجزیه هوازی مواد آلی موجود در پسماندها جامد شهری است. این محل دفن نیمه هوازی به خوبی با شرایط آب و هوایی ژاپن سازگار است و تبدیل به محل دفن استاندارد ژاپن شده است [Hanashima, 1999]. در سیستم نیمه هوازی انتهای لوله های جمع آوری شیرابه باز است و هوا وارد آنها می‌شود. اختلاف حرارتی بین محل دفن داخلی (دمای بالا) و دمای هوای خارج (حرارت های نسبتاً پایین) یک اثر «دودکش» بوجود می‌آورد که هوا را به داخل لوله ها می‌کشد از میان لوله ها عبور می‌دهد و در داخل توده پسماندها به حرکت

¹ Fukuoka Method

می آورد. در آلمان پیش تصفیه بیولوژیکی هوازی پسماندها جامد از اواخر دهه ۱۹۷۰ اجرا می شده است. سیستم آلمان ها هم از اثر دودکشی برای تامین هوا به داخل توده پسماندها استفاده می کند [Ayalon and Avnimelech, 2001].

اهداف تحقیق

از آنجائیکه میزان مواد آلی موجود در زباله ایران بیشتر از کشورهای پیشرفته می باشد، لذا COD شیرابه تولیدی از محل های دفن، بالاتر از موارد مشابه در کشورهای توسعه یافته است. بازچرخانی شیرابه در محل های دفن علاوه بر تسریع در پایدار شدن پسماندهای موجود، به عنوان روشی جهت پیش تصفیه شیرابه کاربرد دارد. هدف از این پژوهش بررسی عملکرد روش دفن نیمه هوازی می باشد. این روش در مقایسه با روش های هوازی نیاز به صرف انرژی به منظور هوادهی نداشته و اقتصادی تر می باشد. به همین منظور پایلوتی ساخته شده و شیرابه به صورت روزانه در آن بازچرخانی شد. در زمان بهره برداری از پایلوت، پارامترهای مختلفی از شیرابه در فواصل زمانی اندازه گیری شد.

مواد و روشها

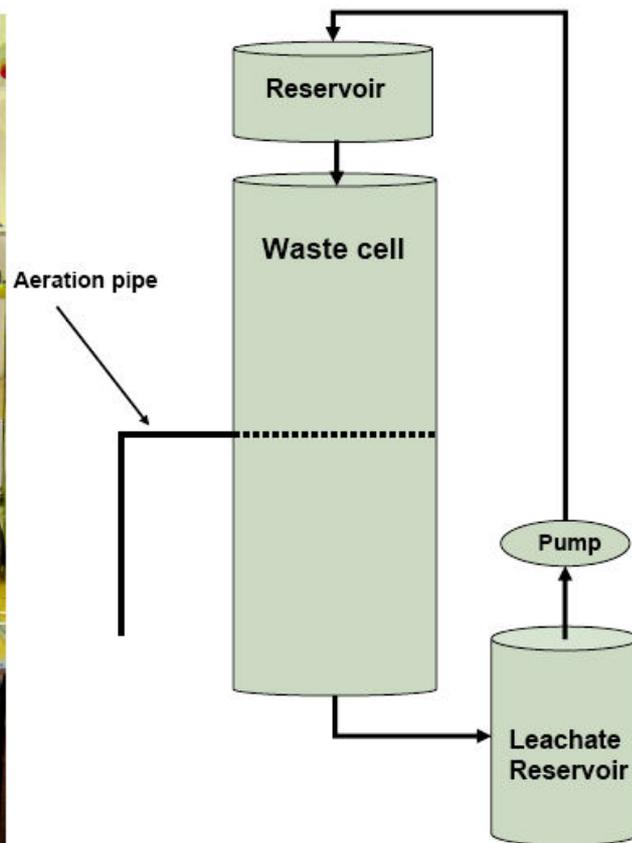
به علت محدودیت های موجود در ابعاد پایلوت آزمایشگاهی و وجود اجزای مختلف پسماندها از قبیل نایلون، پلاستیک، فلزات، شیشه و پارچه که بعضاً ابعاد بزرگ و نامتناسبی با اندازه ستون پسماندها داشتند، زباله مورد استفاده در این پژوهش به صورت مصنوعی و با استفاده از مشخصات پسماندها اصفهان و بر اساس اطلاعات آنالیز فیزیکی انجام شده توسط آزمایشگاه کارخانه کود آلی اصفهان ساخته شد. به این صورت که مواد آلی مورد نیاز از خروجی دستگاههای پردازش پسماندها کارخانه کود آلی به آزمایشگاه منتقل شد. سپس بر اساس اطلاعات آنالیز فیزیکی پسماندهای شهری اصفهان شیشه، پارچه، نایلون، پلاستیک و فلزات در ابعاد ۱۰-۸ سانتی متر خرد شده و با مواد آلی مخلوط و سپس یکنواخت گردید. در جدول شماره ۱ آنالیز فیزیکی پسماندهای مورد استفاده در این پژوهش آورده شده است.

جدول شماره ۱- آنالیز فیزیکی پسماندهای شهری مورد استفاده در تحقیق

فلزات	شیشه	پارچه	کاغذ و مقوا	پلاستیک	مواد آلی
۱/۶	۱/۷	۳/۴	۴/۸	۹/۶	۷۸/۹

شیرابه زباله تازه مورد استفاده در این پژوهش از ایستگاههای انتقال زباله و از مخزن جمع آوری شیرابه که در وسایط نقلیه جمع آوری زباله تعبیه شده، جمع آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. در این تحقیق از یک ظرف پلاستیکی به طول و عرض ۰/۵ متر و ارتفاع تقریبی ۱ متر به عنوان سلول پسماندها استفاده شد. به منظور فراهم آوردن شرایط هوازی در پایلوت، لوله های هوادهی به صورت شبکه در قسمت میانی پایلوت گذاشته شده و برای جلوگیری از ورود زباله، لوله های هوادهی با توری پلاستیکی پوشانده شد. انتهای این لوله ها بوسیله لوله ای انعطاف پذیر به فضای خروجی سلول پسماندها انتقال یافت. در اثر اختلاف دمای بیرون و درون سلول پسماندها، لوله مانند یک دودکش هوا را به داخل منتقل نموده و شرایط مناسب برای میکروارگانیسم ها را فراهم آورد.

به منظور جمع آوری شیرابه در پائین و امکان بازچرخش شیرابه به آرامی درون سلول پسماندها، دو مخزن در پایین و بالای ستون تعبیه شدند که بوسیله پمپ شیرابه از مخزن پایین به بالا منتقل می شد. در شکل ۱ تصویر نمایی و شماتیک از پایلوت آزمایشگاهی نیمه هوازی آورده شده است. همچنین به منظور جلوگیری از خروج گرمای ایجاد شده در پایلوت نیمه هوازی عایق به دور ستون حاوی پسماندها کشیده شد.



شکل ۱- نمای شماتیک از پایلوت نیمه هوازی آزمایشگاهی ساخته شده

پس از ساخت پایلوت و انتقال پسماندها و شیرابه به آزمایشگاه، راکتور با پسماندهای اصلاح شده که قبلاً به طور کامل مخلوط شده و همگن شده بودند، پر شد. در محل‌های دفن در مقیاس واقعی با درصد تراکم متوسط تا بالا، چگالی معمولاً بین $400-750 \text{ kg/m}^3$ می‌باشد [Coelho, 2003]. در این تحقیق راکتور پسماندها با چگالی حدود 550 kg/m^3 پر شد. در ستون پایلوت پس از قرار دادن قلوه سنگ در قسمت تحتانی جهت زهکشی، زباله به صورت لایه ای، در حجم معین و برای رسیدن به چگالی مربوطه متراکم شده و پر شد. سپس پسماندهای موجود در ستون پایلوت به ظرفیت نگهداری^۱ رسانده شد. برای این منظور شیرابه آنقدر به ستون اضافه شد تا زمانی که زباله دیگر توانایی نگهداری شیرابه را در خود نداشته و به همان مقدار که شیرابه به پسماندها اضافه گردیده، از آن خارج شود. سپس روزانه مقدار ۲۸ لیتر شیرابه بازچرخانی شد. پایلوت نیمه هوازی مورد استفاده در این تحقیق ۱۵۷ روز مورد بهره برداری قرار گرفت و در طول بهره برداری پارامترهای مختلفی از شیرابه از قبیل pH, TDS, TS, TSS, COD و دما در فواصل زمانی مناسب اندازه گیری شد.

نتایج و بحث

در این تحقیق فاضلاب ورودی به پایلوت آزمایشگاهی، شیرابه زباله تازه جمع آوری شده از مخزن ماشین آلات جمع آوری زباله شهری بود. لازم به ذکر است میزان پسماندهای فساد پذیر موجود در زباله شهری کشورهای در حال توسعه زیاد می‌باشد (بین ۴۰ تا ۸۵ درصد)، و همین امر موجب بالا رفتن بار آلی شیرابه محل‌های دفن می‌شود در حالیکه مواد فساد پذیر

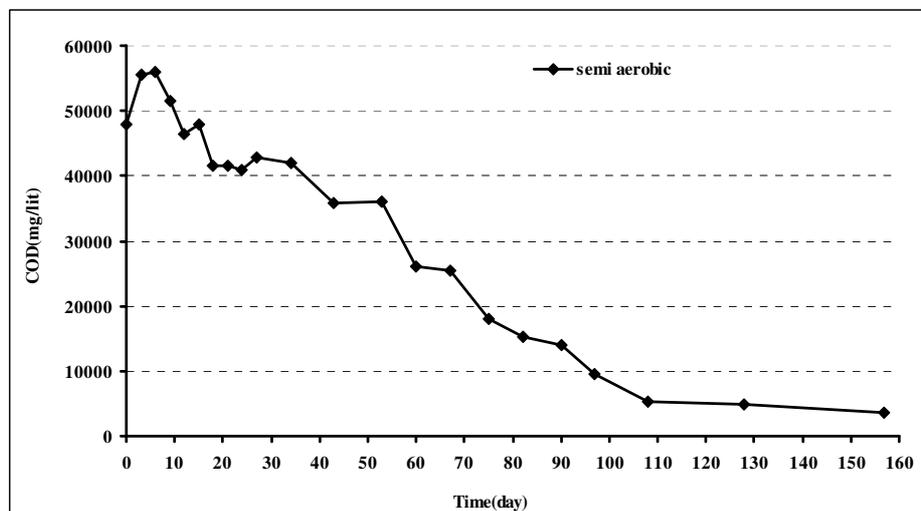
^۱ Field capacity

در آنالیز فیزیکی پسماندهای شهری کشورهای توسعه یافته مقدار کمتری به خود اختصاص داده (حدود ۵۰-۲۳ درصد) و به تبع آن COD شیرابه محل های دفن در کشور های در حال توسعه بیشتر از کشورهای توسعه یافته است [World Bank, 1999].

قبل از سال ۱۹۶۵ افراد خیلی کمی می دانستند که عبور آب از میان ضایعات جامد در یک محل دفن بهداشتی می تواند آن آب را بشدت آلوده کند. این آب آلوده شده یا همان شیرابه بطور کلی موضوع نگران کننده ای بنظر نمی رسید چون موارد خیلی معدودی از آلودگی آب گزارش شده بود که در آنها شیرابه علت آلودگی بوده باشد. اما امروزه محققان محل های دفن پسماندهای شهری را از جمله منابع خیلی مهم آلودگی آبهای زیرزمینی می دانند.

از آنجا که رهاسدن مواد حاصل از تجزیه پسماندهای شهری از محل های دفن غیرقابل اجتناب است، شیرابه می تواند خود شاخصی از وضعیت تثبیت پسماندهای شهری باشد. ویژگیهای شیرابه پسماندهای شهری بسیار متغیرند و عواملی مانند ترکیب پسماندها، عمق، میزان فشردگی و عمر محل دفن، مرحله تثبیت محل دفن، میزان نفوذ، محتوای رطوبت، حرارت و طراحی و عملکرد محل دفن در آن تاثیر گذارند.

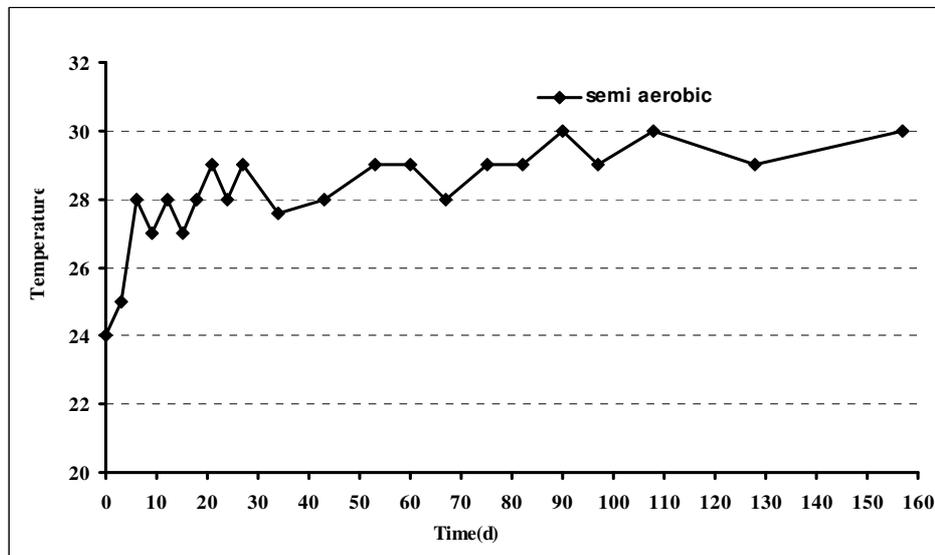
پس از راه اندازی سیستم پارامتر COD به طور پیوسته اندازه گیری شد. شکل شماره ۲ در طول زمان کارکرد سیستم، تغییرات میزان COD شیرابه را نشان می دهد. COD شیرابه در روز اول آزمایش در راکتور نیمه هوازی ۴۸۰۰۰ mg/lit اندازه گیری شد. البته باید این نکته را متذکر شد که دلیل استفاده از زباله و شیرابه تازه در این تحقیق شبیه سازی شرایط موجود در محل های دفن جوان بوده است. روند افزایشی مقدار COD ادامه پیدا کرد و مقدار ماکزیمم COD شیرابه پس از ۶ روز راه اندازی برابر ۵۶۰۰۰ mg/lit اندازه گیری شد. دلیل عمده افزایش مقدار COD حل شدن مواد آلی در شیرابه در اثر بازچرخانی در سلول پسماندها می باشد. پس از ۶ روز از آغاز آزمایشات و خوگیری میکروارگانیسم ها، اولین آثار کاهش در مقدار COD مشاهده شد. روند کاهشی در مقدار COD ادامه یافت تا اینکه پس از ۱۵۷ روز بازچرخانی شیرابه، مقدار آن به ۳۵۰۰ mg/lit رسید که راندمان ۹۳ درصدی را برای حذف COD شیرابه نشان می دهد.



شکل ۲ - تغییرات COD در راکتور نیمه هوازی در طول زمان

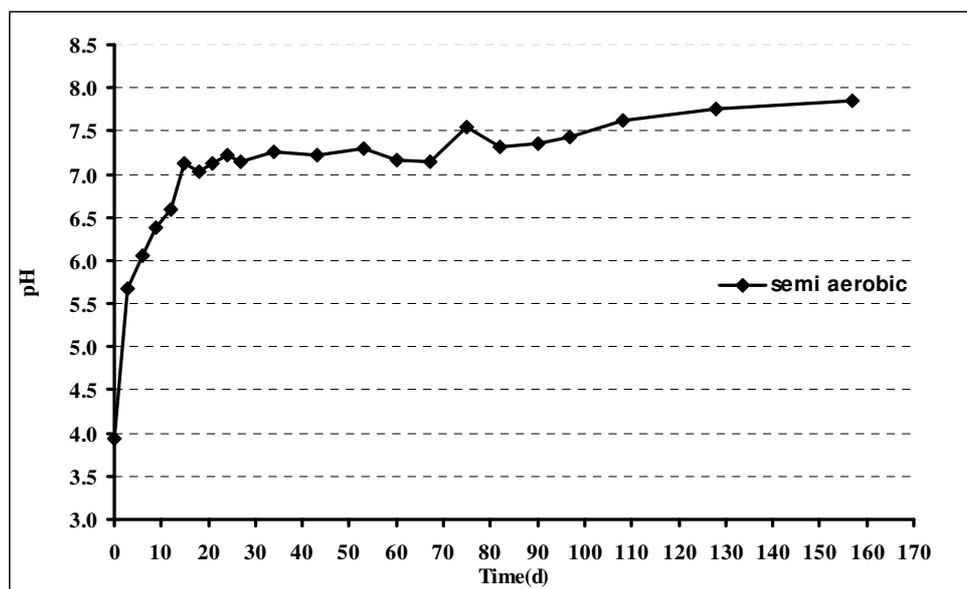
همانطور که در شکل ۲ مشخص می باشد شیب نمودار مصرف COD پس از ۱۰۸ روز از شروع آزمایش کاهش یافته به طوری که در ۵۰ روز آخر مقدار COD تنها از ۵۴۰۰ mg/lit به ۳۵۰۰ mg/lit رسیده است که حاکی از کاهش فعالیت میکروارگانیسم ها است.

در راکتور نیمه هوازی به منظور جلوگیری از اتلاف دمای محل دفن عایق حرارتی به دور سلول پسماندها بسته شد. در شکل شماره ۳ درجه حرارت پسماندهای موجود در سلول پایلوت، در مدت زمان این تحقیق آورده شده است.



شکل ۳- تغییرات درجه حرارت در پایلوت نیمه‌هوازی در طول زمان

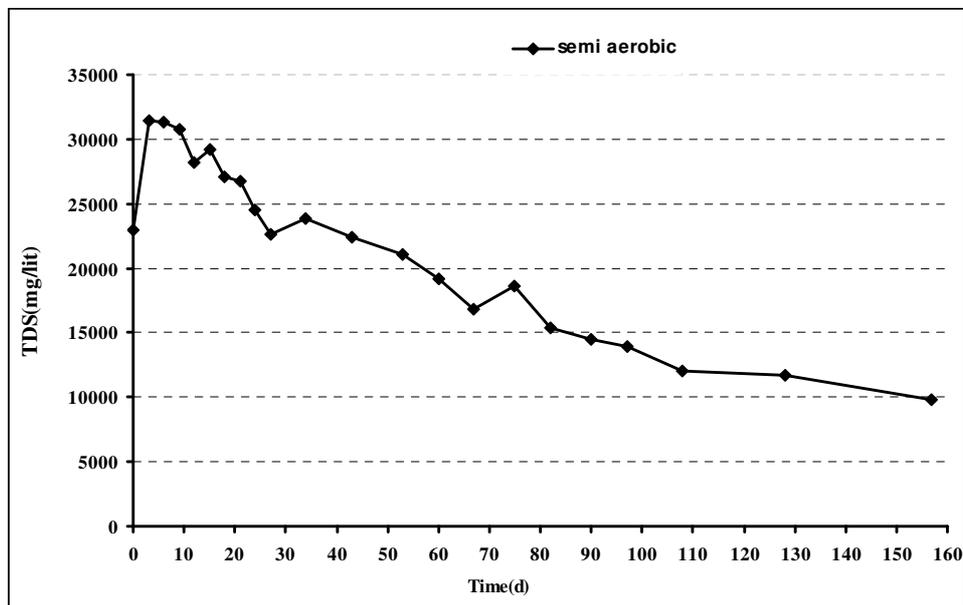
شکل شماره ۴، روند تغییرات pH شیرابه در طول زمان انجام آزمایشات را نشان می‌دهد. pH شیرابه در روز اول ۳٫۹ اندازه گیری شد. در پایلوت نیمه هوازی pH شیرابه با سرعت بالارفت تا اینکه پس از ۱۵ روز به ۷٫۱ رسید. عمده pH شیرابه در پایلوت نیمه هوازی در محدوده ۷٫۳-۷٫۷ قرار داشت که نشان از فعالیت میکروارگانیسم ها در محدوده خنثی دارد.



شکل ۴- تغییرات pH در پایلوت نیمه‌هوازی در طول زمان

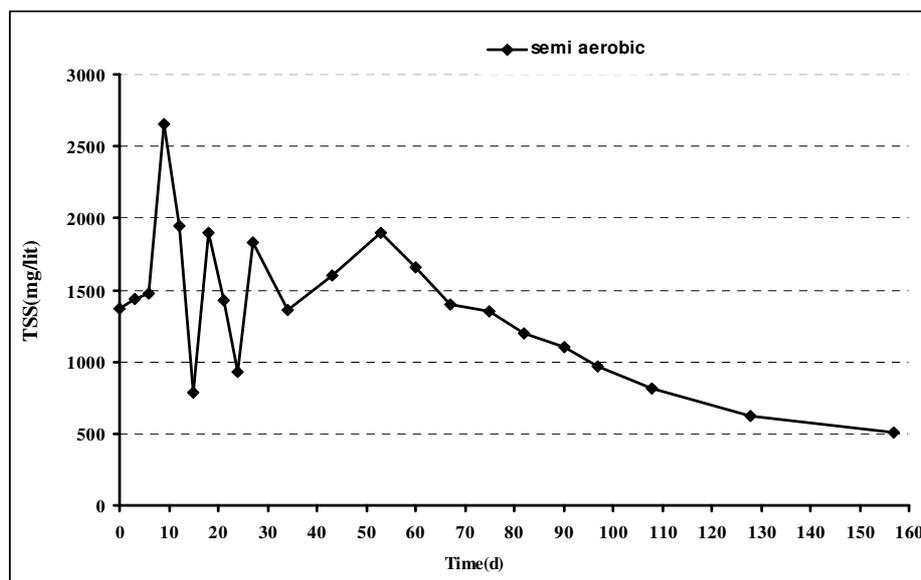
شکل ۵ روند تغییرات TDS (کل مواد محلول) در طول زمان آزمایش را نشان می‌دهد. روند افزایش و سپس کاهش در این نمودار برای راکتور نیمه هوازی تقریباً شبیه به شکل ۲ می‌باشد. در راکتور نیمه هوازی نیز با بازچرخانی شیرابه مواد آلی

بیشتری در شیرابه حل می‌شود ولی پس از برقراری شرایط مناسب در پایلوت، میکروارگانیسم‌ها مواد آلی محلول در شیرابه را مصرف کرده و از مقدار TDS کاسته می‌شود. در راکتور نیمه هوازی بیشترین مقدار TDS برابر 31280 mg/lit بوده است که در طول ۱۵۷ روز انجام این تحقیق مقدار آن به 9800 mg/lit رسید که در زمان مذکور راندمان ۶۸ درصد را نشان می‌دهد.



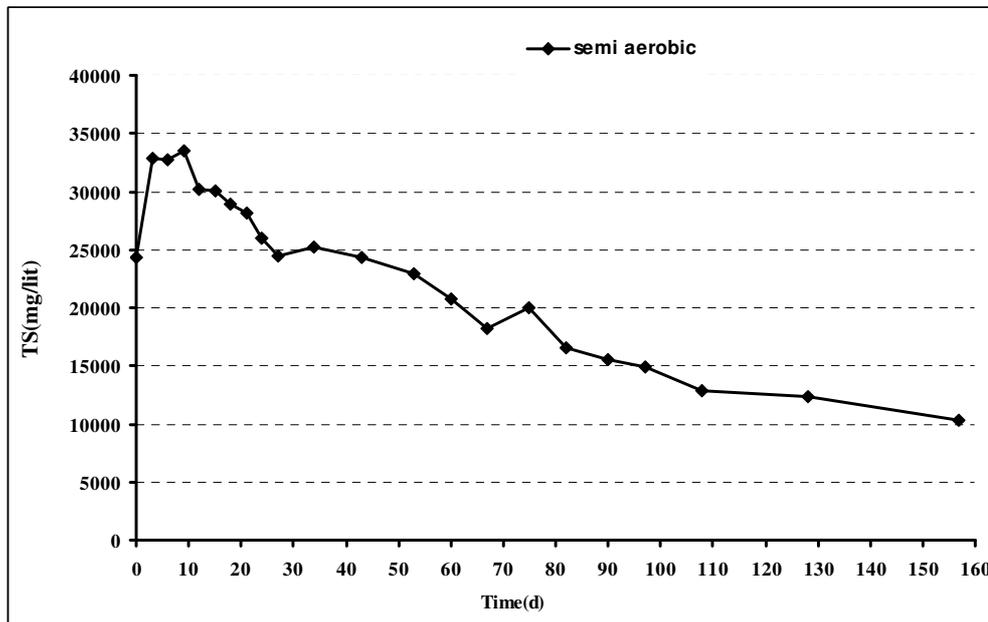
شکل ۵- تغییرات TDS در پایلوت نیمه‌هوازی در طول زمان

شکل ۶ روند تغییرات TSS (مواد معلق کل) را در طول زمان پژوهش در راکتور نیمه هوازی نشان می‌دهد. بیشترین مقدار TSS، 2655 mg/lit اندازه گیری شده است ولی در طول ۱۵۷ روز انجام این تحقیق مقدار آن به 510 mg/lit رسید که کاهش ۸۱ درصدی را نشان می‌دهد.



شکل ۶- تغییرات TSS در پایلوت نیمه‌هوازی در طول زمان

روند تغییرات TS (شکل ۷) مشابه روند COD است. در این پایلوت بیشترین مقدار TS برابر ۳۳۴۶۵ mg/lit بوده و پس از گذشت ۱۵۷ روز از شروع تحقیق مقدار آن به ۱۰۳۱۰ mg/lit می‌رسد که کاهش ۶۹ درصدی را نشان می‌دهد.



شکل ۷- تغییرات TS در پایلوت نیمه‌هوازی در طول زمان

بحث و نتیجه‌گیری

از آنجا که انتشار و نشت شیرابه پسماندها از محل‌های دفن مشکلات عمده زیست محیطی از قبیل آلودگی خاک و آبخوانهای زیرزمینی را در پی دارد و بارآلودگی این نوع فاضلاب بسیار بیشتر از فاضلاب خانگی است لذا تصفیه آن در حد استانداردهای محیط زیستی امری ضروری و در عین حال دشوار و پر هزینه است. محل دفن بیوراکتور روشی نوین در دفن پسماندها جامد شهری است که با کمک آن می‌توان مدت زمان پایداری محل‌های دفن را کوتاه‌تر نمود. در این محل‌های دفن با استفاده از بازچرخانی شیرابه، علاوه بر تامین رطوبت مورد نیاز جهت تجزیه پسماندها، شیرابه نیز به مقدار زیادی تصفیه می‌شود. در این تحقیق تصفیه درجای شیرابه با اجرای یک پایلوت آزمایشگاهی بیوراکتور نیمه‌هوازی مورد بررسی قرار گرفت. راندمان کاهش COD در پایلوت نیمه‌هوازی در مدت ۱۵۷ روز برابر ۹۳٪ اندازه‌گیری شد. فعالیت میکروارگانیسم‌ها در شرایط نیمه هوازی انرژی زیادی تولید نمی‌کند، در نتیجه دما در پایلوت نیمه‌هوازی به کندی بالا رفت. در این پایلوت pH با سرعت بالا رفته و بیشتر در محدوده خنثی باقیماند. راندمان حذف TSS (کل مواد معلق)، TDS (کل مواد محلول) و TS (کل مواد) در نیمه‌هوازی به ترتیب ۶۸،۸۱ و ۶۹ درصد اندازه‌گیری شد.

باتوجه به مطالب بالا می‌توان گفت با استفاده از محل‌های دفن جدید نیمه‌هوازی با بازچرخانی شیرابه، علاوه بر تسریع در پایدار شدن پسماندهای درون محل دفن، می‌توان شیرابه را نیز تا حدود زیادی تصفیه نمود.

منابع و مراجع

Ayalon, O., Avnimelech, Y., 2001, Solid waste treatment as a high-priority and low-cost alternative for greenhouse gas mitigation. *Environmental Management*. 27 (5), 697–704.

Chugh, S., Pullammanappallil, P., Rudolph, V., 1998, Effect of recirculated leachate volume on MSW degradation. *Waste Management and Research*. 16 (6), 564-573.

Coelho, R.A., 2003, Facultative bioreactor landfill: An environmental and geotechnical study. Ph.D Thesis. University of New Orleans, Louisiana.

Gould, J. P., Cross, W. H., Pohland, F. G., 1989, Factors influencing mobility of toxic metals in landfills operated with leachate recycle. In *Emerging Technologies in Hazardous Waste Management* (D. W. Tedder & F. G. Pohland, eds). Washington, D.C., U.S.A.: ACS Symposium Series 422.

Hanashima, M., 1999, Pollution control and stabilization process by semi-aerobic landfill type; the Fukuoka method. *Proceedings of Sardinia 99-7th International Waste Management and Landfill Symposium*. Cagliari. Italy.

Interstate Technology & Regulatory Council, 2006, *Characterization, Design, Construction, and Monitoring of Bioreactor Landfills*. www.itrcweb.org

Klink, R. E., Ham, R. K., 1982, Effects of moisture movement on methane production in solid waste landfill samples. *Resources and Conservation*. 8, 29-41.

Pacey, J., Augenstein, D., Morck, R., Reinhart, D. and Yazdani, R., 1999, The Bioreactor Landfill, *MSW Management Magazine*. 9(5), 53-60.

Pacey, J., Augenstein, D., Mork, R., Reinhart, D., Yazdani, R., 1999, *The Bioreactor landfill: an innovation in solid waste management*. SWANA, Silver Springs, Maryland.

Peirce, J., Weiner, R., and Vesilind, P., 1997, *Environmental Pollution and Control*, Fourth Edition, Butterworth-Heinemann Ed.

Pohland, F. G., 1975, *Sanitary Landfill Stabilization with Leachate Recycle and Residual Treatment*. Report EPA-600/2-75-043, US EPA, Cincinnati, OH.

Pohland, F. G., Kim, J. C., 1999, In situ anaerobic treatment of leachate in landfill bioreactor. *Water Sci. Technol.* 40 (8), 203-210.

Reinhart, D. R., McCreanor, P. T., Townsend, T., 2002, The bioreactor landfill: its status and future. *Waste Management and Research*. 20, 172-186.

Sponza, D.T., Agdag, O.N., 2004, Impact of leachate recirculation and recirculation volume on stabilization of municipal solid wastes in simulated anaerobic bioreactors. *Process Biochemistry* 39, 2157-2165.

Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S. 1993, *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. Irwin McGraw-Hill.

Townsend, T. G., Miller, W. L., Lee, H.-J., Earle, J. F.K., 1996, Acceleration of landfill stabilization using leachate recycle. *Journal of Environmental Engineering*. 122 (4): 263-268.

Warith, M., Li, X., Jin, H., 2005, BIOREACTOR LANDFILLS: STATE-OF-THE-ART REVIEW. Emirates Journal for Engineering Research, 10 (1), 1-14

World Bank 1999, What a Waste: Solid Waste Management in Asia. Urban Development Sector Unit, East Asia and Pacific region.

www.worldbank.org/html/fpd/urban/publicat/whatawaste.pdf

Abstract:

For countries with sufficient available land sanitary landfilling is the most common method of municipal waste disposal. Disadvantages of this method include the production of leachate, high costs of leachate treatment, long time of stabilization of landfill (a few decades), pollution of groundwater resources due to deterioration of the liners and high maintenance costs. Bioreactor landfilling is a new technology for landfilling of municipal wastes. Among the methods used to enhance the biological degradation of solid wastes, moisture control in the form of leachate recirculation is the most effective and practical. The performance of semi-aerobic bioreactor landfilling is investigated in this research. Compared with aerobic bioreactor landfilling this method does not need energy for aeration and thus is more economical. A waste column with dimensions of 0.5 x 0.5 x 1.0 m was filled with municipal waste with a density of 550 kg/m³. Leachate was recirculated daily and parameters such as COD, TDS, TSS, pH, and temperature were monitored over time. Total COD removal efficiency of the system was 93%. The removal efficiency of the system for TSS, TDS and TS were 81%, 68% and 69%, respectively. Using semi-aerobic landfilling with leachate recirculation it was possible to enhance the stabilization of the waste and treat the leachate at the same time.