



مقایسه تصفیه پذیری در جای شیرابه در محل های دفن به صورت بیوراكتور با روشهای هوازی و بی هوازی در مقیاس آزمایشگاهی

مهدی احمدی فر^۱، مجید سرتاج^۲

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

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

msartaj@cc.iut.ac.ir

خلاصه

تصفیه درجای شیرابه بوسیله بازچرخانی آن در یک محل دفن از روشهای نوین مدیریت شیرابه محسوب میشود. در این مقاله به کارایی این محل های دفن در تصفیه پذیری شیرابه در دو پایلوت هوازی و بی هوازی پرداخته شده است. مواد زائد شهری در راکتور های به طول و عرض ۰.۵ متر و ارتفاع ۱ متر و با چگالی حدود 550 kg/m^3 پر شد. به منظور جمع آوری شیرابه و بازچرخش دو مخزن در پایین و بالای راکتور های تعبیه شدند. از یک کمپرسور هوا جهت هوادهی به توده پسماند داخل راکتور هوازی استفاده شد. در ابتدای آزمایشات مقدار 0.24 lit/min.kg هوا به داخل پایلوت تزریق میشد که با گذشت زمان این مقدار به 0.2 lit/min.kg کاهش یافت. در مدت زمان تحقیق کاهش در مقدار COD شیرابه در دو پایلوت هوازی و بی هوازی به ترتیب ۹۱ و ۸۲ درصد اندازه گیری شد. از مزایای راکتور هوازی عدم نیاز به راهبری خاصی می باشد. ولی در راکتور بی هوازی تنظیم pH و دمای محل دفن از جمله مشکلات راهبری سیستم است. از مزایای راکتور بی هوازی عدم نیاز به پمپاژ هوا و صرف هزینه در مقایسه با سیستم هوازی است. تولید گاز متان در سیستم بی هوازی و امکان استفاده از آن برای تولید انرژی از مزایای دیگر استفاده از سیستم بی-هوازی می باشد.

کلمات کلیدی: محل دفن بهداشتی، محل دفن بیوراكتور، تصفیه شیرابه، مواد زائد جامد

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 ضایعات شهری به یکی از مهمترین مقوله های مدیریت جوامع مواد زائد شهری تبدیل شده است. دفع مواد زائد شهری از طریق دفن در محلهای مناسب یکی از بهترین و مقرون به صرفه ترین روشها برای کشور هایی است که زمین کافی در اختیار دارند. در یک محل دفن بهداشتی فرآیند های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی موجب تجزیه مواد آلی پسماند های موجود در آن میشود [۱].

در طول بهره برداری و یا بعد از عملیات پر کردن محل دفن، به دلیل رطوبت موجود در زباله، فعالیت های فیزیکی و شیمیایی مواد زائد، ورود آب به داخل محل دفن از طریق آب باران و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی، شیرابه (leachate) زباله تولید می شود. هر چند ترکیبات شیرابه و غلظت آلاینده های آن بستگی زیادی به ترکیبات مواد زائد و همچنین عمر محل دفن دارد ولی از مشخصه های تمامی آنها بالا بودن آلاینده های زیست محیطی از قبیل COD (مقدار اکسیژن خواهی شیمیایی) و BOD (مقدار اکسیژن خواهی بیولوژیکی)، بوی بد آن و رنگ تیره آن می باشد. جدول شماره ۱ مقادیر پارامتر های مختلف شیرابه محل دفن را نشان میدهد.

به منظور جلوگیری از آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی شیرابه محل دفن بهداشتی جمع آوری و با صرف هزینه های زیاد تصفیه میگردد. از طرف دیگر از دست دادن رطوبت مواد زائد که عامل مهمی در تجزیه مواد آلی بشمار میرود، محل دفن را به یک مدفن خشک تبدیل کرده که مواد در آن حدود ۲۰۰-۳۰ سال دست نخورده باقی میماند و فرسودگی لایه های عایق کف (Liner) در این مدت طولانی منجر به نشت شیرابه از محل دفن شده و آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی را در پی دارد [۳].

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

^۲ استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان



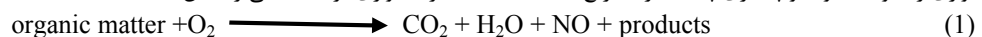
وجود مشکلات زیاد محلهای دفن موجود محققان را به فکر طراحی محلهای دفن پیشرفته تر انداخت. محلهای دفن بیوراکتور، از نوع محلهای دفن بهداشتی است که مشخصاً از فرآیندهای مربوط به میکروارگانیسم ها به منظور تبدیل و پایدار نمودن مواد زائد آلی تجزیه پذیر در زمان کوتاه بوسیله تسریع در تجزیه میکروبی بهره میگیرد [۴].

ایده اصلی اینگونه محلهای دفن توسط پولند در اواخر دهه ۱۹۷۰ داده شد [۵]. به منظور تسریع در فرآیندهای بیولوژیکی محل دفن بیوراکتور، راههای زیادی از قبیل تنظیم pH، خرد کردن پسماندهای شهری، اضافه کردن لجن فاضلاب، افزودن آنزیم و... ارائه شده ولی معمولترین و متداولترین آنها بازچرخانی شیرابه (leachate recirculation) محل دفن میباشد. میتوان با بکارگیری این روشها پایداری یک محل دفن را از چندین دهه به کمتر از ۵ سال کاهش داد [۶]. محلهای دفن بیوراکتور را میتوان بر اساس شرایط محیطی ایجاد شده برای میکروارگانیسم ها به هوازی، بیهوازی و نیمه هوازی تقسیم بندی نمود [۷].

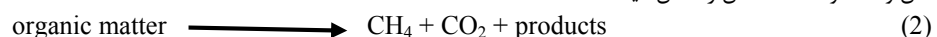
جدول ۱- پارامترهای مختلف شیرابه [۲]

Parameter	Value (mg/L) ^(a)		
	New landfill (less than 2 years)		Mature landfill (greater than 10 years)
	Range ^(b)	Typical ^(c)	Range ^(d)
BOD ₅ (5-day biochemical oxygen demand)	2,000 – 30,000	10,000	100-200
TOC (total organic carbon)	1,500 – 20,000	6,000	80 – 160
COD (chemical oxygen demand)	3,000 – 60,000	18,000	100 – 500
TSS (total suspended solids)	200 – 2,000	500	100 – 400
Organic nitrogen	10 – 800	200	60 – 120
Ammonia nitrogen	10 – 800	200	20 – 40
Nitrate	5 – 40	25	5 – 10
Total phosphorus	5 – 100	30	5 – 10
Ortho phosphorus	4 – 80	20	4 – 8
Alkalinity as CaCO ₃	1,000 – 10,000	3,000	200 – 1,000
pH	4.5 – 7.5	6	6.6 – 7.5
Total hardness as CaCO ₃	300 – 10,000	3,500	200 – 500
Calcium	200 – 3,000	1,000	100 – 400
Magnesium	50 – 1,500	250	50 – 200
Potassium	200 – 1,000	300	50 – 400
Sodium	200 – 2,500	500	100 – 200
Chloride	200 – 3,000	500	100 – 400
Sulfate	50 – 1,000	300	20 – 50
Total iron	50 – 1,200	60	20 – 200

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 میدهد [۸].



اما در یک محل دفن بیوراکتور از نوع بیهوازی، تجزیه بیولوژیکی در غیاب اکسیژن منجر به تولید گاز در محل دفن میشود. به منظور کاهش اثرات گلخانه ای، گاز تولید شده در یک محل دفن را جمع آوری نموده و به مصرف فرآیندهای تولید انرژی میرسانند. معادله ۲ تجزیه بیهوازی در یک محل دفن و محصولات عمده آن را نشان میدهد [۲].



در هر دو محل دفن به صورت بیوراکتور هوازی و بیهوازی، بازچرخانی شیرابه باعث افزایش مقدار رطوبت مواد زائد و همچنین توزیع و تامین مواد مغذی و آنزیم ها بین میکروارگانیسم ها می شود [۹]. پولند در سال ۱۹۷۵ اولین آزمایش بمنظور بررسی تاثیر بازچرخانی شیرابه را بررسی نمود و نشان داد با این روش میتوان علاوه بر سرعت بخشیدن به فرآیندهای تجزیه پسماندهای شهری، مقدار COD شیرابه را نیز کم کرد. در تحقیقی که توسط پاوسی و همکاران در سال ۱۹۸۷ بر روی یک مرکز دفن بیهوازی در کالیفرنیا انجام شد، پایداری سریعتر زباله در محل دفن و نشست ۲۵-۲۰ درصدی مشاهده شد [۱۰]. همچنین گرین در سال ۲۰۰۰ نشست ۳۰ درصدی را برای محل های دفن بیوراکتور در اثر کامل شدن فرآیند تجزیه پذیری را مشاهده نمود [۱۱]. واریس در سال ۱۹۹۸ در تحقیقی به بررسی تکنیک های افزایش روند تجزیه پذیری بیولوژیکی زائدات پرداخت. او در این پژوهش نشان داد اندازه مواد زائد در محل های دفن بیوراکتور بیشترین تاثیر را بر روی نرخ تجزیه پذیری دارد، همچنین وی کنترل دما و رطوبت را در محل های دفن به منظور سرعت بخشیدن به روند تجزیه بیولوژیکی پسماندهای شهری و پایدار شدن آنها موثر دانست [۱۲]. پولند و کیم در سال ۱۹۹۹ به بررسی حذف فلزات سنگین در محل های دفن بیوراکتور بیهوازی در مقیاس آزمایشگاهی پرداختند. این تحقیق ۱۵۰۰ روز به طول انجامید. آنها علاوه بر کاهش در مقدار COD و TVA در مرحله متان سازی، ترسیب و احیاء سولفیت ها و سولفات ها و تولید متان همراه با افزایش pH را مشاهده نمودند [۱۳]. اما با همه محاسن و مزایایی که محل دفن بیوراکتور دارد، روش بازچرخانی شیرابه در همه جا مقبولیت پیدا نکرده است زیرا بالا رفتن هد بر روی عایق های پایینی محل دفن، منجر به پر شدن لوله های سیستم زهکش و باعث نشست شیرابه به خاک و آبهای زیرزمینی و در نتیجه آلودگی آنها میشود [۱۲]. فرآیند دفع مواد زائد توسط بیوراکتور های هوازی، شرایط بهینه ای جهت پایداری سریعتر مواد زائد، کاهش غلظت آلاینده



های شیرابه و کاهش تولید گاز متان و در نتیجه کاهش گازهای گلخانه ای و نشست بیشتر محل دفن را فراهم می‌آورد [۱۳]. باید به این نکته توجه نمود که امکان اطمینان کامل از برقراری شرایط هوازی در کل بیورکتور نیست اما این شرایط در اکثریت نقاط آن برقرار است. این امکان وجود دارد که نیتروژنیکاسیون و دی نیتروژنیکاسیون به طور همزمان در راکتور هوازی و در نتیجه کاهش آمونیاک و بوهای آزاردهنده تولیدی اتفاق بیفتد [۱۴]. علاوه بر اینکه بازچرخانی شیرابه رطوبت مورد نیاز مواد زائد را جهت تجزیه پذیری تامین میکند. در پژوهشی دیگر محققان دریافتند کاهش در غلظت فلزات سنگین در اثر واکنشهای اکسایش-کاهش، جذب، ترسیب و تشکیل نمکهای فلزات اتفاق می‌افتد [۱۵]. ارسس و همکاران در سال ۲۰۰۵ به بررسی ظرفیت جذب فلزات سنگین توسط زباله برای فلزاتی مانند $Cd.Ni.Cu.Zn.Fe$ پرداختند و دریافتند که ظرفیت جذب پسماند برای Fe از همه بیشتر و Cd از همه کمتر بود [۱۶]. بیلگیلی و همکاران در سال ۲۰۰۷ تاثیر بازچرخانی شیرابه بر روی کاهش غلظت فلزات سنگین در راکتور هوازی و بی-هوازی را بررسی کردند و سرعت حذف فلزات سنگین در راکتور هوازی را سریعتر و غلظت های نهایی آن را کمتر عنوان کردند [۱۷]. با توجه به مطالب ارائه شده در بالا، هدف اصلی در این تحقیق مقایسه تصفیه پذیری شیرابه یک محل دفن به روش بازچرخانی به صورت هوازی و بیهوازی بود.

مواد و روشها

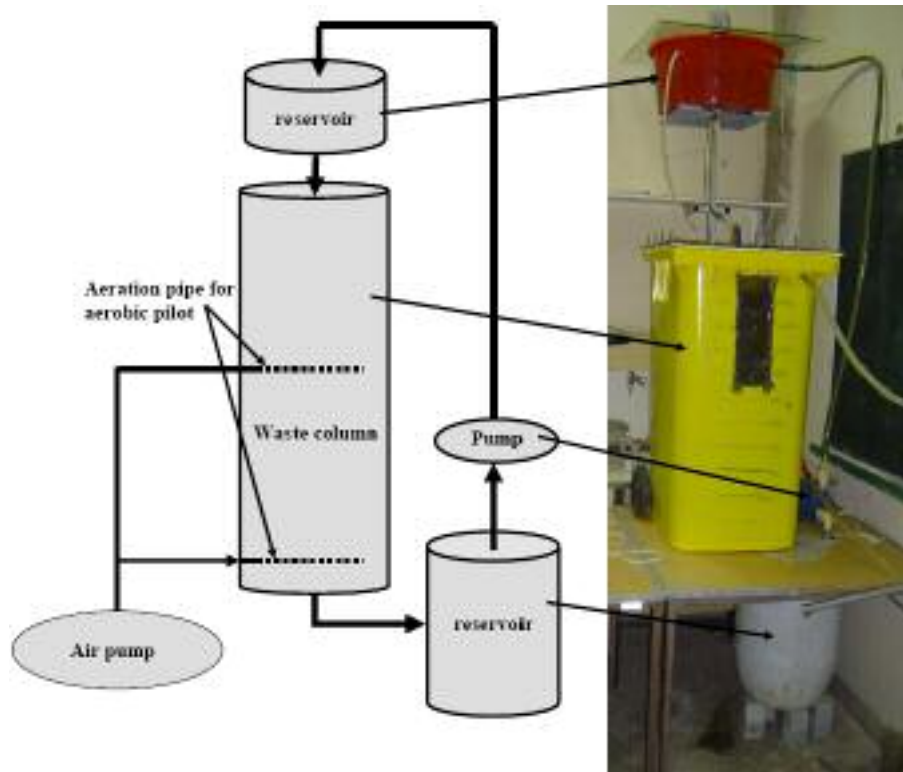
به علت محدودیت های موجود در ابعاد پایلوت آزمایشگاهی و وجود اجزای مختلف مواد زائد از قبیل نایلون، پلاستیک، فلزات، شیشه و پارچه که بعضاً ابعاد بزرگ و نامتناسبی با اندازه ستون مواد زائد داشتند، زباله مورد استفاده در این پژوهش به صورت مصنوعی و با استفاده از مشخصات مواد زائد اصفهان و بر اساس اطلاعات آنالیز فیزیکی انجام شده توسط آزمایشگاه کارخانه کود آلی اصفهان ساخته شد. به این صورت که مواد آلی مورد نیاز از خروجی دستگاهای پردازش مواد زائد کارخانه کود آلی به آزمایشگاه منتقل شد، سپس بر اساس اطلاعات آنالیز فیزیکی مواد زائد اصفهان شیشه، فلزات، پارچه، نایلون، پلاستیک و فلزات در ابعاد ۱۰-۸ سانتی متر خرد شده و با مواد آلی مخلوط و سپس یکنواخت شد. در جدول شماره ۲ آنالیز فیزیکی مواد زائد مورد استفاده آورده شده است.

جدول شماره ۲- آنالیز فیزیکی مواد زائد 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 ۱ متر به عنوان راکتور استفاده شد. به منظور فراهم آوردن شرایط هوازی در پایلوت، لوله های هوادهی به صورت شبکه در قسمت تحتانی و میانی پایلوت گذاشته شده و برای جلوگیری از ورود زباله، لوله های هوادهی با توری پلاستیکی پوشانده شد. از یک کمپرسور هوا جهت هوادهی به توده پسماند داخل ستون مواد زائد استفاده شد. در راکتور هوازی در ابتدای آزمایشات مقدار 0.24 lit/min.kg هوا به داخل پایلوت تزریق میشد که با گذشت زمان این مقدار به 0.2 lit/min.kg کاهش یافت. به منظور جمع آوری شیرابه در پائین و امکان بازچرخش شیرابه به آرامی درون راکتور مواد زائد، دو مخزن در پایین و بالای ستون تعبیه شدند که بوسیله پمپ شیرابه از مخزن پایین به بالا منتقل می‌شد. در شکل ۱ تصویر نمایی و شماتیک از پایلوت آزمایشگاهی هوازی آورده شده است. پایلوت بی‌هوازی مشابه با پایلوت هوازی بود با این تفاوت که لوله های هوادهی در آن وجود نداشت و به منظور جلوگیری از خروج گرمای ایجاد شده در پایلوت بی‌هوازی عایق به دور ستون حاوی مواد زائد کشیده شد.

پس از ساخت پایلوت و انتقال مواد زائد و شیرابه به آزمایشگاه، راکتور با مواد زائد اصلاح شده که قبلاً به طور کامل مخلوط شده و همگن شده بودند، پر شد. در محل های دفن در مقیاس واقعی با درصد تراکم متوسط تا بالا، چگالی معمولاً بین $400-750 \text{ kg/m}^3$ می‌باشد [۱۸]. در این تحقیق راکتور مواد زائد با چگالی حدود 550 kg/m^3 پر شد. در ستون پایلوت پس از قرار دادن قله 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 مواد زائد موجود در ستون پایلوت به ظرفیت نگهداری (Field capacity) 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 مواد زائد اضافه گردیده، از آن خارج شود. سپس روزانه مقدار ۲۸ لیتر شیرابه بازچرخانی شد. پایلوت مورد استفاده در این تحقیق به مدت ۷۵ روز مورد بهره برداری قرار گرفت و در طول بهره برداری پارامترهای مختلفی از شیرابه از قبیل $\text{pH} \cdot \text{TDS} \cdot \text{TS} \cdot \text{TSS} \cdot \text{COD}$ و دما در فواصل زمانی مناسب اندازه گیری شد.



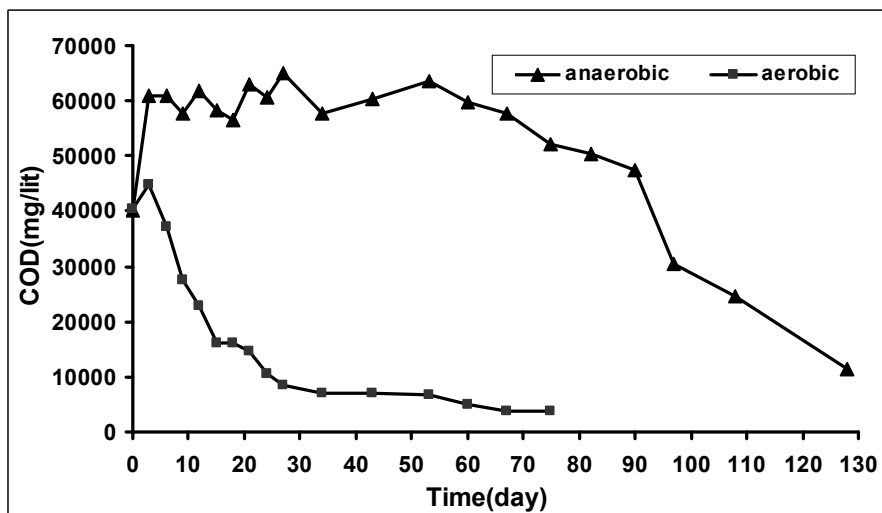
شکل ۱- نمای شماتیک از پایلوت هوازی آزمایشگاهی ساخته شده

نتایج و بحث

در این تحقیق فاضلاب ورودی به پایلوت آزمایشگاهی، شیرابه تازه جمع آوری شده از مخزن ماشین آلات جمع آوری زباله شهری بود. میزان مواد زائد فساد پذیر موجود در زباله شهری کشورهای در حال توسعه زیاد می باشد (بین ۴۰ تا ۸۵ درصد)، و همین امر موجب بالا رفتن بار آلی شیرابه محل های دفن می شود در حالیکه مواد فساد پذیر در آنالیز فیزیکی پسماند های 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 [۱۹].

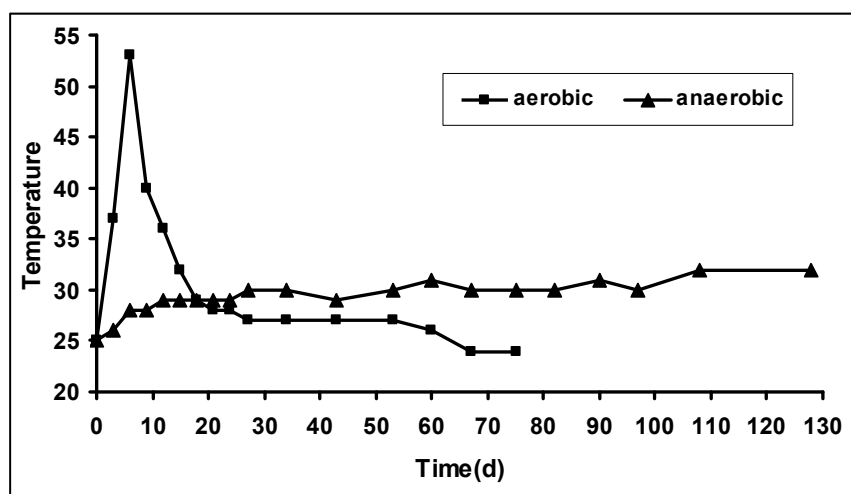
همانگونه که اشاره شد هدف اصلی در این تحقیق مقایسه تصفیه پذیری شیرابه یک محل دفن به روش بازچرخانی به صورت هوازی و بیهوازی بود. توانایی و عملکرد سیستم با ارزیابی راندمان حذف COD و پارامترهای دیگر مورد بررسی قرار گرفت. پس از راه اندازی سیستم پارامتر COD به طور پیوسته اندازه گیری شد. شکل شماره ۲ در طول زمان کارکرد سیستم، تغییرات میزان COD شیرابه را نشان می دهد. COD اولیه شیرابه در راکتور هوازی 40523 mg/lit اندازه گیری شد که در طول ۳ روز ابتدایی پس از راه اندازی پایلوت مقدار آن به 44800 mg/lit رسید. افزایش مقدار COD شیرابه حاکی از حل شدن مواد آلی پسماند موجود در ستون زباله در اثر بازچرخانی آن است. پس از برقراری شرایط مناسب در سیستم و خوگیری میکروارگانیسم های هوازی، تصفیه شیرابه شروع شده، در روزهای اولیه فعالیت میکروارگانیسم ها و میزان سوخت و ساز آنها به شدت بالا بوده و در نتیجه سرعت تصفیه پذیری نیز بالاست. با توجه به شکل شماره ۲ مشخص است که عمده کاهش COD بین روزهای ۳ الی ۲۷ اتفاق افتاده و مقدار COD از ماکزیمم 44800 mg/lit به 8450 mg/lit رسیده که کاهش ۸۱ درصدی را نشان می دهد. COD شیرابه در فاصله زمانی ۵۰ روز بعد از مقدار 8450 mg/lit به 3840 mg/lit رسیده که کاهش ۱۰ درصدی را در این فاصله نشان می دهد. در پایان آزمایش در راکتور هوازی کاهش COD شیرابه و تصفیه پذیری آن با راندمان ۹۱ درصد را مشاهده شد.

شرایط حاکم در پایلوت بی هوازی بسیار متفاوت با راکتور هوازی است. در راکتور بی هوازی زمانی از COD شیرابه کاسته خواهد شد که باکتری های متان ساز فعال شده باشند و روند تولید متان در سیستم بی هوازی آغاز شود. در روزهای اولیه آمیزش بازچرخانی شیرابه باعث حل شدن مواد آلی بیشتر در شیرابه شده است. از اینرو COD شیرابه به سرعت بالا می رود. در این تحقیق از زباله تازه و شیرابه تازه استفاده شد تا شرایط موجود در محلهای دفن جوان شبیه سازی شود. روند افزایشی مقدار COD در پایلوت بی هوازی ادامه پیدا کرد و مقدار ماکزیمم COD شیرابه 64900 mg/lit بدست آمد. اما پس از گذشت حدود ۷۰ روز از شروع آزمایشات و برقراری شرایط مناسب برای باکتری های متان ساز، مقدار COD شیرابه روند کاهشی به خود گرفت و پس از حدود ۱۳۰ روز به مقدار 11544 mg/lit رسید. مدت زمان لازم برای تصفیه بیولوژیکی در شرایط بیهوازی طولانی تر از راکتور هوازی است ولی راکتور بی هوازی بدون صرف هزینه پمپاژ هوا به داخل محل دفن در شرایط هوازی شیرابه را تصفیه می کند. در این تحقیق راندمان راکتور بیهوازی تا زمان ۱۳۰ روز ۸۲ درصد برآورد شده است.



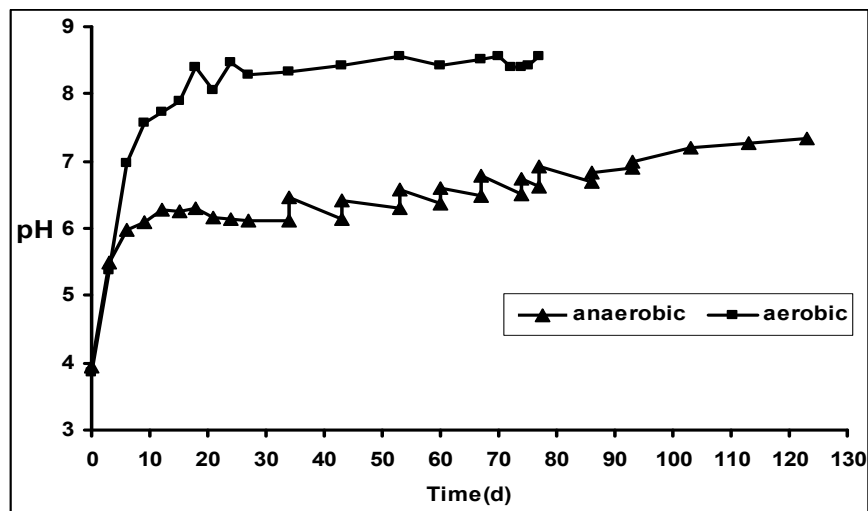
شکل ۲- تغییرات COD در راکتور هوازی و بی‌هوازی در طول زمان

در شکل شماره ۳ درجه حرارت ستون مواد زائد در مدت زمان این تحقیق آورده شده است. دلیل افزایش دما در روزهای اولیه، به افزایش فعالیت میکروارگانیسم های هوازی و در نتیجه تولید انرژی گرمایی در محل دفن هوازی شبیه سازی شده برمیگردد. مقدار ماکزیمم دمایی ۵۳ درجه سانتیگراد اندازه گیری شد. سپس دما کاهش پیدا کرد و در حدود ۲۷ روز به دمای ۲۷ درجه رسید. مقایسه شکل‌های ۲ و ۳ نشان میدهد که کاهش مواد آلی با کاهش فعالیت میکروارگانیسم ها و در نتیجه کاهش دما در راکتور هوازی همراه بوده است و در نتیجه سرعت تصفیه پذیری نیز کاهش میابد. ولی در راکتور بی‌هوازی دما به کندی بالا میرود. دمای مناسب برای متان سازی بین ۲۹ تا ۳۵ درجه عنوان شده است. البته باید به این نکته توجه داشت که دو عامل pH و دما با هم در ایجاد شرایط متان سازی دخیل هستند.



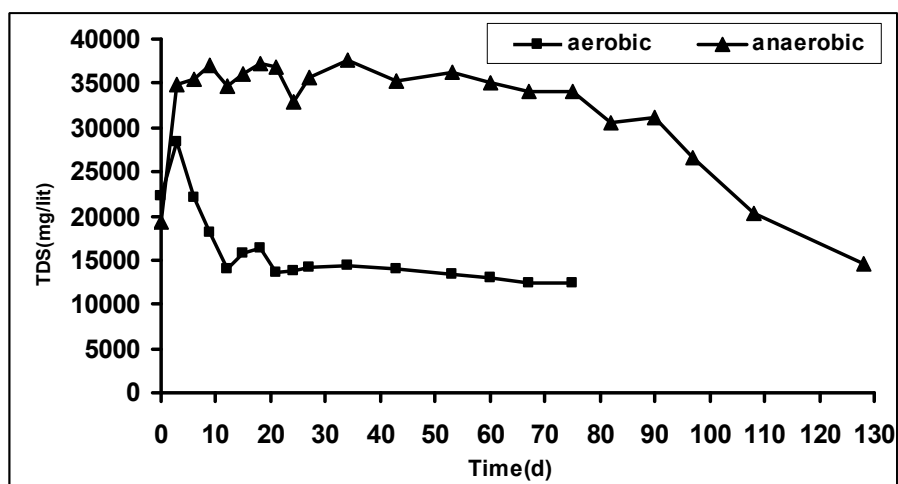
شکل ۳- تغییرات درجه حرارت در پایلوت هوازی و بی‌هوازی در طول زمان

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 که پس از راه اندازی پایلوت و ایجاد شرایط هوازی در آن به سرعت بالا رفت و در مدت ۲۷ روز اولیه از شروع آزمایش به حدود ۸٫۳ رسید و بعد از آن تقریباً ثابت بوده و در رنج ۸٫۲ تا ۸٫۵ متغیر بود. ولی در پایلوت بی‌هوازی به دلیل فعالیت اسید سازها در روزهای اول pH به کندی بالا میرود و در بعضی از روزها کاهش نشان میداد. به منظور ایجاد شرایط مناسب برای باکتری های متان ساز، در فاصله روز ۳۴ که pH شیرابه ۶٫۱ است تا روز ۸۶ که pH شیرابه ۶٫۹ اندازه گیری شد، بوسیله افزودن NaOH به شیرابه روند افزایش pH تقویت شد. اما پس از روز ۸۶ pH شیرابه به طور طبیعی روند افزایشی را نشان میدهد.



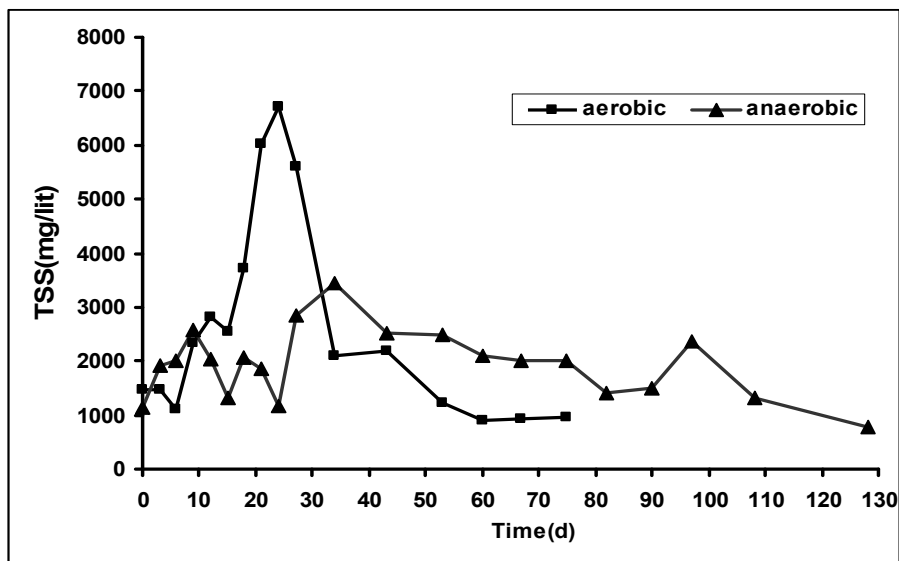
شکل ۴- تغییرات pH در پایلوت هوازی و بی‌هوازی در طول زمان

شکل ۵ روند تغییرات TDS (کل مواد محلول) در طول زمان آزمایش را نشان می‌دهد. روند افزایش و سپس کاهش در این نمودار برای هر دو راکتور هوازی و بی‌هوازی تقریباً شبیه به شکل ۲ می‌باشد. در راکتور هوازی بالا رفتن مقدار TDS در روز های اولیه از ۲۲۲۸۰ mg/lit به ۲۸۳۶۰ mg/lit مربوط به حل شدن مواد آلی بیشتر در اثر بازچرخانی شیرابه در زمان عدم فعالیت میکروارگانیسم های هوازی است. با فعال شدن میکروارگانیسم ها مقدار TDS شروع به کاهش کرده و در حقیقت مواد محلول در شیرابه به مصرف میکروارگانیسم های موجود در محیط می رسند و مقدار آن در انتهای آزمایش به ۱۲۳۷۰ mg/lit میرسد. کارایی سیستم در حذف مقدار TDS برابر ۵۶ درصد برآورد شده است. در راکتور بی‌هوازی نیز با بازچرخانی شیرابه مواد آلی بیشتری در شیرابه حل میشود ولی با فعالیت متان ساز ها، این میکروارگانیسم ها مواد آلی محلول در شیرابه را مصرف و به متان تبدیل میکنند. در نتیجه از مقدار آن کاسته میشود. در راکتور بی‌هوازی بیشترین مقدار TDS برابر ۳۷۵۶۰ mg/lit بوده است که در طول ۱۳۰ روز انجام این تحقیق مقدار آن به ۱۴۶۷۰ mg/lit رسید که تا زمان مذکور راندمان ۶۱ درصد را نشان میدهد.



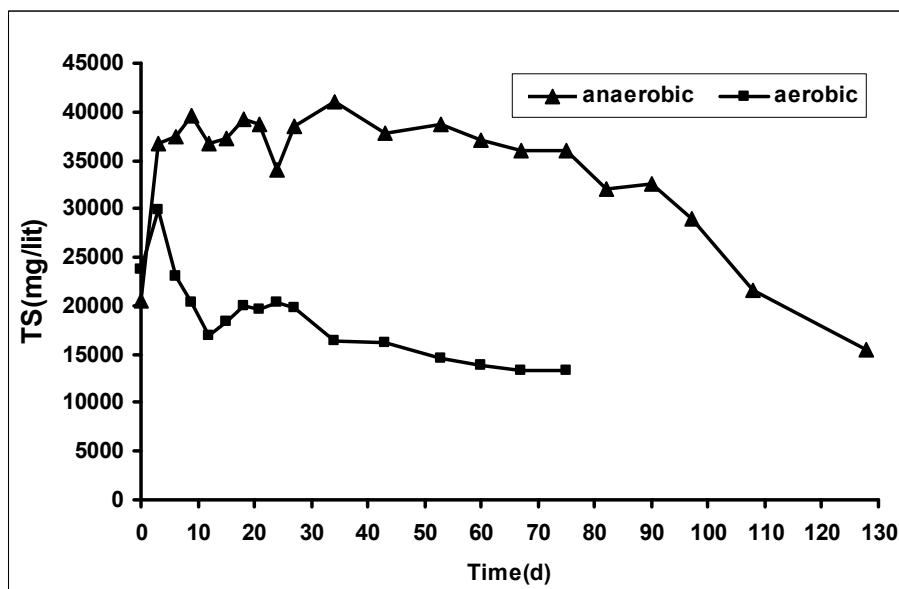
شکل ۵- تغییرات TDS در پایلوت هوازی و بی‌هوازی در طول زمان

شکل ۶ روند تغییرات TSS (مواد معلق کل) را در طول زمان پژوهش نشان می‌دهد. در راکتور هوازی این پارامتر در روز اول آزمایش ۱۴۶۰ mg/lit بوده است که ابتدا روند صعودی داشته و ۲۴ روز پس از آغاز آزمایشات به مقدار ۶۷۰۰ mg/lit رسیده و سپس روند نزولی خود را تا پایان ادامه داده و مقدار آن در انتهای آزمایشات به ۹۶۵ mg/lit رسید. در این تحقیق کارایی سیستم در حذف TSS برابر حدود ۸۵ درصد بوده است. در پایلوت بی‌هوازی مقدار TSS کمتر از راکتور هوازی است و بیشترین مقدار آن به ۳۴۳۵ mg/lit میرسد ولی در طول ۱۳۰ روز انجام این تحقیق مقدار آن به ۷۸۵ mg/lit رسید که کاهش ۷۷ درصدی را نشان میدهد.



شکل ۶- تغییرات TSS در پایلوت هوازی و بی‌هوازی در طول زمان

در شکل ۷ روند تغییرات TS (مواد جامد کل) را در طول زمان این تحقیق نشان می‌دهد. روند تغییرات TS با روند COD شباهت‌های زیادی دارد. در پایلوت هوازی مقدار TS شیرابه در روزهای اول آزمایش ۲۳۷۵۰ mg/lit بوده که پس از چند روز روند صعودی داشته و به مقدار ۲۹۸۲۰ mg/lit رسیده است سپس به علت مصرف مواد آلی موجود در شیرابه که به صورت محلول و معلق در آن درآمده اند، این مقدار پس از گذشت ۷۵ روز به ۱۳۳۳۵ mg/lit رسیده است. میزان کاهش TS در طول انجام این تحقیق در راکتور هوازی راندمان ۵۵ درصدی را در حذف جامدات کل شیرابه بازچرخانی شده نشان می‌دهد. در راکتور بی‌هوازی نیز روند تغییرات مانند روند تغییرات COD می‌باشد. در این پایلوت بیشترین مقدار TSS برابر ۴۰۹۵۵ mg/lit بوده و پس از گذشت ۱۳۰ روز از شروع تحقیق مقدار آن به ۱۵۴۵۵ mg/lit میرسد که ۶۲ درصد را نشان می‌دهد.



شکل ۷- تغییرات TS در پایلوت هوازی و بی‌هوازی در طول زمان

نتیجه گیری

انتشار و نشت شیرابه مواد زائد جامد از محل‌های دفن مشکلات عمده زیست محیطی از قبیل آلودگی خاک و آبخوانهای زیرزمینی را در پی دارد. از آنجا که 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 پرهزینه است. با استفاده از بازچرخانی شیرابه در یک محل دفن میتوان علاوه بر تامین رطوبت مورد نیاز جهت تجزیه مواد زائد، شیرابه را نیز



به مقدار زیادی تصفیه نمود. در این تحقیق تصفیه درجای شیرابه با اجرای دو پایلوت به روش بیوراکتور هوازی و بی‌هوازی مورد بررسی قرار گرفت. راندمان کاهش COD در راکتور هوازی در مدت زمان کوتاهی ۹۱٪ بود در حالیکه راندمان در پایلوت بی‌هوازی تا روز ۱۲۸ برابر ۸۲٪ اندازه گیری شد. راکتور هوازی نیاز به راهبری خاصی نداشت ولی در راکتور بی‌هوازی روند بالا رفتن pH و تنظیم دمای محل دفن بمنظور فعالیت میکروارگانیسم های متان ساز و به تبع آن کاهش COD از اهمیت بالایی برخوردار است. باید این نکته را نیز توجه نمود که پمپاژ هوا به داخل محل دفن هوازی با صرف هزینه زیادی همراه است در حالیکه میتوان از گاز تولیدی در محلهای دفن بی‌هوازی که عمدتاً متان است برای تولید انرژی استفاده کرد. در راکتور هوازی فعالیت میکروارگانیسم ها به سرعت بالا رفته و به همین دلیل دما در فاصله زمانی کمی به ۵۳ درجه میرسد ولی در راکتور بی‌هوازی انرژی زیادی تولید نمیشود و دما به کندی بالا میرود. pH در راکتور هوازی به سرعت بالا رفت و به حدود ۸٫۴ رسید در حالیکه در راکتور بی‌هوازی pH به کندی بالا رفته و در مدت زمان مشخصی به صورت مصنوعی روند بالا رفتن pH تقویت شد. با شروع فعالیت متان سازها pH به طور طبیعی بالا رفت. پارامتر TDS در راکتور بی‌هوازی بیشتر از راکتور هوازی بود که به مقدار زیاد مواد آلی محلول در پایلوت بی‌هوازی مربوط می‌شود که راندمان حذف این پارامتر در راکتور هوازی و بی‌هوازی به ترتیب ۵۶ و ۶۱ درصد بود.

مراجع

1. Warith, M., Li, X., Jin, H., (2005) Bioreactor Landfills: State-Of-The-Art Review. *Emirates Journal for Engineering Research*, 10 (1), 1-14.
2. Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S. (1993) *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. Irwin, McGraw-Hill.
3. Warith, M.A., (2003) Solid waste management: new trends in landfill design. *Emirates Journal of Engineering Research*, 8 (1), pp.61-70.
4. Pacey, J., Augenstein, D., Morck, R., Reinhart, D. and Yazdani, R., (1999) The Bioreactor Landfill, *MSW Management Magazine*. 9(5), 53-60.
5. Pohland, F. G., (1975) *Sanitary Landfill Stabilization with Leachate Recycle and Residual Treatment*. Report EPA-600/2-75-043, US EPA, Cincinnati, OH.
6. Kilmer, K.W., Tustin, J.H. (1999) Rapid landfill stabilization and improvements in leachate quality by leachate recirculation. In: *SWANA Proceedings of the Fourth Annual Landfill Symposium*, Denver, CO.
7. Interstate Technology & Regulatory Council, (2006) *Characterization, Design, Construction, and Monitoring of Bioreactor Landfills*. www.itrcweb.org
8. Peirce, J., Weiner, R., and Vesilind, P., (1997) *Environmental Pollution and Control*, Fourth Edition, Butterworth-Heinemann Ed.
9. 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.
10. A white paper from waste management, *Bioreactor of Landfill, The Next Generation of Landfill Management*. www.wm.com/WM/environmental/Bioreactor/WMWhitePaper.
11. Green, R.B., 2000. *The Bioreactor Landfill: A White Paper*. Waste Management Inc., Cincinnati, OH.
12. Warith, M.A., and Sharma, R., (1998) Technical review of methods to enhance biological degradation in sanitary landfills. *Water Qual. Res. J. Canada*. 33(3), 417-437.
13. Pohland, F.G., Kim, J.C., (1999) In situ anaerobic treatment of leachate in landfill bioreactors, *Water Science and Technology*. 40(8), 203-210.
14. Mertoglu, B., Calli, B., Inanc, B., and Ozturk, I., (2006) Evaluation of in situ ammonia removal in an aerated landfill bioreactor. *Process Biochemistry* 41, 2359–2366.
15. Read, A.D., Hudgins, M., Harper, S., Phillips, P., and Morris, J., (2001) The successful demonstration of aerobic landfilling. The potential for more sustainable solid waste management approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 32, 115–146.
16. Erses, S.A., Fazel, M.A., Onaya, T.T., and Craig, W.H., (2005) Determination of solid waste sorption capacity for selected heavy metals in landfills. *Journal of Hazardous Materials*. B121, 223–232.
17. Bilgili, M.S., Demir, A., Ince, and Ozkaya, M., (2007) Metal concentrations of simulated aerobic and anaerobic pilot scale landfill reactors. *Journal of Hazardous Materials* 145 (2007) 186–194.
18. Coelho, R.A., (2003) *Facultative bioreactor landfill: An environmental and geotechnical study*. Ph.D Thesis. University of New Orleans, Louisiana.
19. 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