

Effect of Recirculation on Leachate Quality and Biogas Production Rate in Landfills

M. Behnezhad¹, A. H. Hassani², R. Mahmoudkani³, S. A. R. Hajiseyed Mirzahosseini⁴

1. PhD. Student, Dept. of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Prof., Dept. of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
(Corresponding Author) ahassani@srbiau.ac.ir
3. Assist. Prof., Dept. of Environmental Health Engineering, Tehran Medical Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
4. Assist. Prof., Dept. of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(Received Nov. 16, 2021 Accepted Feb. 19, 2022)

To cite this article:

Behnezhad, M., Hassani, A. H., Mahmoudkani, R., Hajiseyed Mirzahosseini, S. A. R. 2022. "Effect of recirculation on leachate quality and biogas production rate in landfills" Journal of Water and Wastewater, 33(2), 119-131.
Doi: 10.22093/wwj.2021.315126.3198. (In Persian)

Abstract

The present study investigates the effects of recirculation on the leachate pollutions and biogas production in a waste processing in the west of Tehran province, Iran. Recirculation is considered as an effective way in leachate pollutants reduction and biogas production rate increase. For this purpose, a trench with a size of 3*3*2.5 m was dug, and one pipe was applied for sampling. Parameters were examined, including the chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, turbidity, total suspended solids, ammonium, phosphate, copper, iron, cadmium, lead, and zinc. To evaluate the production of gases, the periodical measurements of CH₄, H₂S, and SO₂ were performed. Moreover, biogas production in the trench was measured in seven repetitions. Then, leachate recirculation in the landfill was performed at the leachate volume ratio of 20:1, 10:1, 5:1, and 40:1. Comparison of the results indicated that the recirculation volume ratio of 1:20 maximized the reduction of pollutants. At this volume ratio, the maximum productions of CH₄, H₂S, and SO₂ were obtained to be 50127 ppm, 21.12 ppm, and 0.23 ppm, respectively. The recirculation at the ratio of 20:1 reduced COD, BOD, ammonium, phosphate, TSS, and turbidity by 1650 mg/L (26%), 889 mg/L (20%), 1650 mg/L (26%), 10 mg/L (23%), 63 mg/L (11%), and 11.2 NTU (23%), respectively. Although the effects of recirculation on the reduction of pollutants, particularly organic ones, were found to be satisfactory, complementary treatment is required for the secondary utilization of wastewater.

Keywords: Leachate, Waste, Recirculation, Biogas, Wastewater.

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۳، شماره ۲، صفحه: ۱۳۱-۱۱۹

تأثیر بازچرخانی بر کیفیت شیرابه و نرخ تولید بیوگاز در اماکن دفن زباله

محسن بهنژاد^۱، امیر حسام حسینی^۲، روح‌اله محمودخانی^۳، سید علیرضا حاجی سید میرزاحسینی^۴

۱- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست،

واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست،

واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(نویسنده مسئول) ahassani@srbiau.ac.ir

۳- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی،

دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- استادیار، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست،

واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

پذیرش ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

دریافت ۱۴۰۰/۸/۲۵

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام فرمایید:

بهنژاد، م.، حسینی، ا.ح.، محمودخانی، ر.، حاجی سید میرزا حسینی، س.ع.، ۱۴۰۱، "تأثیر بازچرخانی بر کیفیت شیرابه و نرخ تولید بیوگاز در

اماکن دفن زباله" مجله آب و فاضلاب، ۳۳(۲)، ۱۳۱-۱۱۹. Doi: 10.22093/wwj.2021.315126.3198

چکیده

این پژوهش مطالعه‌ای بر تأثیر بازچرخانی بر روی آلاینده‌های شیرابه و تولید بیوگاز در سلول دفن در غرب استان تهران بود. بازچرخانی به عنوان روشی مؤثر در کاهش آلاینده‌های شیرابه و افزایش تولید بیوگاز مطرح است. در این پژوهش یک ترانشه با ابعاد ۳×۳×۲/۵ متر حفر و یک لوله برای برداشت شیرابه در یکی از اضلاع آن جانمایی شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل BOD، COD، کدورت، TSS، آمونیوم، فسفات، مس، آهن، کادمیم، سرب و روی بود. به منظور ارزیابی تولید بیوگاز، میزان تولید گازهای CH_4 و H_2S و SO_2 در چندین مرحله سنجش شد. در ابتدا تولید بیوگاز تولیدی در ترانشه در ۷ تکرار سنجش شد. بازچرخانی شیرابه در نسبت‌های ۱:۲۰، ۱:۱۰، ۱:۵ و ۱:۴۰ انجام شد. مقایسه نتایج نشان داد که در نسبت ۱:۲۰ بیشترین کاهش در میزان آلاینده‌های شیرابه اتفاق می‌افتد. در این نسبت بیشترین میزان تولید گازهای CH_4 ، H_2S و SO_2 به ترتیب ۱۲۷±۵، ۲۱/۱۲ و ۲۳ ppm به دست آمد. در نسبت ۱:۲۰ کاهش در میزان BOD، COD، آمونیوم، فسفات، TSS و کدورت به ترتیب برابر ۱۶۵۰ (۲۶ درصد)، ۸۸۹ (۲۰ درصد)، ۱۶۵۰ (۲۶ درصد)، ۱۰ (۲۳ درصد)، ۶۳ میلی‌گرم بر لیتر (۱۱ درصد) و ۱۱/۲ NTU (۲۳ درصد) به دست آمد. اگرچه تأثیر بازچرخانی در کاهش آلاینده‌ها به خصوص آلاینده‌های آلی مطلوب بود، تکمیلی برای مصارف ثانویه پساب مورد نیاز بود.

واژه‌های کلیدی: شیرابه، پسماند، بازچرخانی، بیوگاز، فاضلاب

۱- مقدمه

هستند (Billa and Pradhan, 2013, Meima et al., 2008).
 فعل و انفعالات فیزیکی و شیمیایی زباله در لایه‌های مختلف

شیرابه زباله به دلیل خاصیت آلاینده‌گی منابع آب سطحی و زیرزمینی
 و تولید گازهای گلخانه‌ای از چالش برانگیزترین مسائل مراکز دفن



پلوکوست و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی اثر بازچرخانی شیرابه در تولید گاز متان در مناطق گرمسیری کشور فرانسه پرداختند. در این پژوهش دریافته‌اند با تزریق ۵ مترمکعب شیرابه تنها با فاصله چند روز میزان گاز متان به‌طور فاحشی افزایش می‌یابد. زباله‌های قدیمی‌تر گاز بیشتری تولید می‌کنند (Plocoste et al., 2016). در این پژوهش ۴۵ مترمکعب شیرابه خام در محوطه‌ای به وسعت ۱۲ هکتار بازچرخانی شد. مقدار متان در بعضی لوله‌های نمونه‌برداری بعد از عملیات بازچرخانی ۱/۵ تا ۲ برابر افزایش یافت. نقش بازچرخانی در افزایش تولید گاز و تثبیت شیرابه مفید ارزیابی شد. هزینه تصفیه شیرابه و فضای موردنیاز دفن، به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت.

تروات و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی تأثیر بازچرخانی در لندفیل‌های بیوفیلتر پرداختند (Thorvat et al., 2017). بعد از ۴ روز از سومین بازچرخانی در نمونه اول، میزان کلیاییت، کلراید، سختی و COD به ترتیب ۳۳/۳۳، ۴۲/۴۲، ۵۰/۷۶ و ۴۷/۵۰ درصد کاهش یافت. بعد از ۶ روز از سومین بازچرخانی برای نمونه دوم، کلیاییت، کلراید، سختی و COD به ترتیب به میزان ۴۱/۸۱، ۶۴/۴۸، ۴۷/۶۴ و ۵۵/۹۲ درصد کاهش یافت. بعد از ۱۲ روز از سومین بازچرخانی برای نمونه سوم، میزان کلیاییت، کلراید، سختی و COD به ترتیب ۵۶/۸۱، ۶۶/۶۶، ۶۴/۴۴ و ۴۴/۷۵ درصد کاهش یافت.

هدف اصلی از دفن زباله دفع طولانی‌مدت و کاهش اثرات نامطلوب آن بر سلامت انسان و محیط‌زیست است (McDougall et al., 2008, Billa and Pradhan, 2013). یک فرایند همراه با بازده باشد (Rasapoor et al., 2020, Biswas et al., 2006, Syaichurrozi and Sumardiono, 2013, El-Mashad and Zhang, 2010). لندفیل‌هایی انجام می‌شود (Syaichurrozi and Sumardiono, 2013, Trebouet et al., 2001, Markowski et al., 2014).

محسنی و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی پتانسیل تولید گاز متان در اماکن دفن کلان‌شهرهای تهران، شیراز، مشهد، اصفهان و کرج پرداختند. میزان گاز متان و کربن دی‌اکساید تولیدی از کل این ۵ محل دفن زباله به ترتیب $11/15 \times 10^7$ و $8/25 \times 10^7$ مترمکعب در سال برآورد شد. همچنین آلاینده‌های وینیل کلراید، بوتان، کربن دی‌سولفاید، کلرو دی‌فلوئورو متان، بنزن، دی‌کلرو دی‌فلوئورو

سلول دفن که متأثر از عوامل خارجی چون هوا، حرارت و رطوبت است، باعث تولید مایعی سیاه رنگ متعفن و چند گاز بی‌بو می‌شود که هر یک نیازمند مدیریت ویژه‌ای است (McDougall et al., 2008, Billa and Pradhan, 2013, Białowiec et al., 2011). دفن بهداشتی زباله شامل ورود، جاسازی و فشرده‌سازی زباله و نصب تجهیزات کنترل و نظارت است (McDougall et al., 2008, Scaglia et al., 2010).

بازچرخانی شیرابه به‌عنوان یک روش معمول برای کاهش بار آلودگی شیرابه استفاده می‌شود (Markowski et al., 2014, Biswas et al., 2006, Lema et al., 1988, Bae et al., 2019). این فرایند به‌طور قابل‌توجهی بر کاهش کلیاییت، کلراید، سختی و COD^۱ مؤثر است (Białowiec et al., 2011, Scaglia et al., 2010, Biswas et al., 2006).

اکسیژن و دما دو عامل مهم و اساسی در واکنش‌های داخل بیوراکتور است (Li et al., 2015, Cesaro and Belgiorno, 2014, Syaichurrozi and Sumardiono, 2013, Linke, 2006, Miao et al., 2019).

اسیدهای چرب، آمونیاک و آلاینده‌های کلردار به‌طور قابل‌توجهی در محیط‌های نیمه‌هوازی در مقایسه با محیط‌های هوازی راحت‌تر حذف می‌شوند (Li et al., 2015).

رساپور و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی تولید گاز در لندفیل هامپتون‌دان با تغییر در میزان رطوبت پرداختند. افزایش رطوبت تا میزان بیش از ۴۵ درصد، باعث افزایش تولید گاز در لندفیل می‌شود. استفاده از ۸۰ میلی‌لیتر شیرابه به‌ازای هر لیتر زباله باعث افزایش ۳۰۰ درصدی در میزان تولید گاز می‌شود. بیشترین میزان کاهش COD به میزان ۷۳ درصد در ۸۰ میلی‌لیتر بازچرخانی شیرابه به‌ازای هر لیتر زباله به‌دست آمد. آنها همچنین دریافته‌اند بیشترین میزان تولید بیوگاز ۲ سال بعد از تکمیل لندفیل اتفاق می‌افتد (Rasapoor et al., 2020).

حیدریان و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی و شبیه‌سازی عملیات بازچرخانی شیرابه در ابعاد پایلوت در شهر تهران پرداختند. آنها دریافته‌اند بعد از عملیات بازچرخانی میزان COD و BOD₅ به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد (Heydarian et al., 2016).

^۱ Chemical Oxygen Demand (COD)



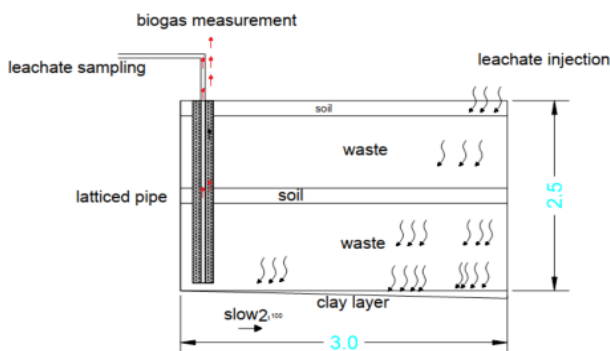


Fig. 1. A schematic of the experimental trench. This pilot contains a latticed pipe for sampling the leachate and biogas measurement

شکل ۱- طرح شماتیک ترانشه. این پایلوت شامل یک لوله مشبک برای نمونه برداری شیرابه و سنجش بیوگاز است

سنجش پارامترها در ابعاد آزمایشگاهی و بر اساس کتاب "استاندارد متد برای انجام آزمایش‌های آب و فاضلاب" انتخاب شدند. در این پژوهش از دستگاه اسپکتروفتومتر (Dr.6000) برای سنجش آمونیم، فسفات، کدورت و COD استفاده شد. یک اکسی‌متر (WTW) برای سنجش اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی^۱ استفاده شد. دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی (Spectr AA220) برای اندازه‌گیری فلزات سنگین به کار گرفته شد. گازهای تولیدی به وسیله یک دستگاه گازسنج به نام Aerouual سری ۵۰۰، ارزیابی شد. در این پژوهش تغییرات کیفی و کمی شیرابه در حالت‌های مختلف درون ترانشه بررسی شد. به منظور اطمینان از حصول شرایط ثابت میکروبی قبل از شروع آزمایش‌ها، میزان تولید گازها در ۷ مرحله طی مدت ۶ ماه اندازه‌گیری شد تا پیش از شروع عملیات بازچرخانی از ثبات تولید گازها در داخل ترانشه اطمینان حاصل شد. بعد از آنکه از تثبیت محیط میکروبی و نبود عواملی که در سنجش، ایجاد اختلال می‌کنند اطمینان حاصل شد، عملیات بازچرخانی آغاز شد. در نسبت‌های ۱:۲۰، ۱:۵، ۱:۱۰ و ۱:۴۰ شیرابه به داخل ترانشه تزریق شد. COD، BOD، آمونیم، فسفات، کل جامدات معلق^۲، کدورت، سرب، آهن، مس، کادمیم و روی آلاینده‌هایی هستند که در شیرابه، سنجش شدند. همچنین گازهای CH_4 ، H_2S و SO_2 گازهایی بودند که به منظور سنجش تغییرات

¹ Biochemical Oxygen Demand (BOD)

² Total Suspended Solids (TSS)

متان، دی‌کلرو فلوتورومتان، هگزان، پنتان، زایلن در میان سایر آلاینده‌ها بیش از حد استاندارد بود (Mohseni et al., 2019). تولید گاز متان در فاز ترموفیلیک ۱/۵ برابر بیشتر از فاز مزوفیلیک است (Li et al., 2015).

در شیرابه‌های با بار آلودگی پایین، فاز هوادهی می‌تواند مؤثر باشد (Wable et al., 1993). این فاز برای شیرابه‌های جوان با وزن مولکولی کم می‌تواند مؤثرتر باشد ولی همچنان نیاز به تصفیه تکمیلی وجود دارد (Tabet et al., 2002, Borja et al., 2003). به جز متغیرهایی که به آنها اشاره شد، رطوبت، pH، غلظت توده‌زیستی، مقدار پروتئین، طراحی ترانشه و پوشش روزانه نهایی دیگر فاکتورهای مؤثر بر رفتار شیرابه و تولید بیوگاز هستند (Meima et al., 2008, Ishii and Furuichi, 2013).

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر عملیات بازچرخانی شیرابه در شرایط و احجام مختلف آن نسبت به حجم زباله موجود در ترانشه بر روی میزان تولید بیوگاز و آلاینده‌های شیرابه موجود در لندفیل بود. در حال حاضر فرایند بازچرخانی به‌عنوان روش مؤثر برای مدیریت شیرابه مراکز دفن در اکثر مناطق کشور مطرح است. به‌منظور تأیید این انتخاب، ارائه و مقایسه آماری نتایج در خصوص تأثیر این فرایند در کاهش آلاینده‌های موجود در شیرابه و استخراج اقتصادی بیوگاز در یک ترانشه استاندارد با ماهیت واقعی زباله ورودی به یکی از مراکز دفن بزرگ کشور ضروری به نظر می‌رسید.

۲- مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری با روش پایلوت انجام شد. پایلوت یک ترانشه خاکی به ابعاد ۳/۵×۳×۳ متر بود. به‌منظور اندازه‌گیری متغیرها ترانشه حفر و یک لوله برای برداشت نمونه‌های گاز و شیرابه در یکی از اضلاع آن جانمایی شد. شکل ۱ طرح شماتیک ترانشه را نشان می‌دهد.

نمونه زباله به‌طور تصادفی از زباله‌هایی که توسط تریلرهای حمل زباله شهر ملارد به مرکز دفن منتقل شده است برداشت شد. بعد از جداسازی مواد خشک قابل‌بازیافت، باقیمانده زباله‌ها در درون ترانشه تخلیه و با خاک محلی پوشانده شد. نمونه‌های شیرابه که در مراحل مختلف آزمایش به داخل ترانشه تزریق شد، به‌طور تصادفی و از نقاط مختلف تجمع شیرابه در مرکز پذیرش و امحای زباله غرب استان تهران برداشت شد. مواد و ابزار استفاده شده برای



جدول ۱- پارامترهای کیفی شیرابه موجود در ترانشه و استاندارد خروجی فاضلاب برای استفاده در مصارف مختلف

(Iran Environmental Protection Organization, 1996)

Table 1. Trench leachate parameters and output standards (Iran Environmental Protection Organization, 1996)

No	Parameter	Unit	Measured quantity	Output standard		
				Drainage to surface waters	Drainage to wells	Agricultural and irrigation uses
1	COD	mg/L	9993	60 (Momentary100)	60 (Momentary100)	200
2	BOD	mg/L	4980	30 (Momentary50)	30 (Momentary50)	100
3	Turbidity	NTU	1433	50	—	50
4	TSS	mg/L	10300	40 (Momentary60)	—	100
5	NH ₄ ⁺	mg/L	1020	2.5	1	—
6	PO ₄ ³⁻	mg/L	1433	6	6	—
7	Cu	mg/L	0.17	1	1	0.2
8	Fe	mg/L	59.0	3	3	3
9	Cd	mg/L	0.28	0.1	0.1	0.05
10	Pb	mg/L	0.60	1	1	1
11	Zn	mg/L	0.94	2	2	2

تولید گازها داخل ترانشه قبل از بازچرخانی را نشان می‌دهد. در پژوهش‌های مشابه که پیش از این انجام شده بود افزایش قابل توجه در میزان تولید گازها در شرایط مشابه اتفاق افتاد (Aguilar-

Virgen et al., 2014, Converte et al., 1999)

متان مهمترین گاز قابل اشتعال تولیدی در بیوراکتور است. بنابراین قبل از شروع به اندازه‌گیری تغییرات داخل ترانشه باید از ثبات تولید آن اطمینان حاصل شود تا نتایج به دست آمده قابل استناد باشد. به این منظور گازهای تولیدی در داخل ترانشه در ۷ مرحله و به فاصله ۷ روز اندازه‌گیری شدند. بعد از اطمینان از تثبیت فعالیت میکروبی در داخل سلول دفن، تأثیر بازچرخانی بر آلاینده‌های شیرابه و بیوگاز در نسبت‌های ۱:۲۰، ۱:۵، ۱:۱۰ و ۱:۴۰ ارزیابی شد. دو مرتبه اندازه‌گیری با فاصله ۷ روز در هر یک از نسبت‌ها انجام شد. در مرتبه اول شیرابه به داخل ترانشه تزریق و بعد از گذشت ۷ روز میزان تولید گاز اندازه‌گیری شد. نمونه شیرابه نیز در همان روز برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. در تمامی مراحل آزمایش پیش از انجام عملیات بازچرخانی در مرتبه دوم، شیرابه تجمع یافته در لوله در مرحله اول به طور کامل تخلیه و مجدداً شیرابه به داخل ترانشه تزریق شد. بازچرخانی با همان نسبت مرتبه اول انجام و کلیه اقدامات تکرار شد.

تولید بیوگاز در نسبت‌های مختلف بازچرخانی اندازه‌گیری شدند. نمونه‌های شیرابه به وسیله موتور مکش از داخل لوله نمونه برداری برداشت و در همان روز به آزمایشگاه منتقل شدند. میزان تولید گازها نیز از قسمت خروجی لوله برداشت. در مدت ۳۰ دقیقه سنجش شد. از نرم افزار اکسل برای آنالیز داده‌ها در قالب دیگرام‌ها و جداول استفاده شد.

۳- یافته‌ها

پیش از شروع به اندازه‌گیری پارامترها در حالت‌های مختلف بازچرخانی، خصوصیات کیفی و کمی شیرابه و میزان تولید بیوگاز در داخل ترانشه آزمایش شد. میزان تولید شیرابه در یک ترانشه به ابعاد ۲/۵×۳×۳ متر بعد از گذشت ۷ روز برابر ۲۵ لیتر بود. پارامترهای مربوط به آلاینده‌ها نیز در شیرابه سنجش شد. جدول ۱ مقدار پارامترهای کیفی مربوط به شیرابه تولیدی در ترانشه و استاندارد خروجی فاضلاب برای استفاده در مصارف مختلف ارائه شده از سوی سازمان حفاظت محیط زیست را نشان می‌دهد. بر اساس ۷ مرحله اندازه‌گیری گازهای تولیدی در ترانشه بدون انجام بازچرخانی، بیشترین میزان تولید گازهای CH₄، H₂S و SO₂ به ترتیب برابر ۳۶۷۲۲، ۲۷/۷۸ و ۰/۴۱ ppm بود. شکل ۲ میزان



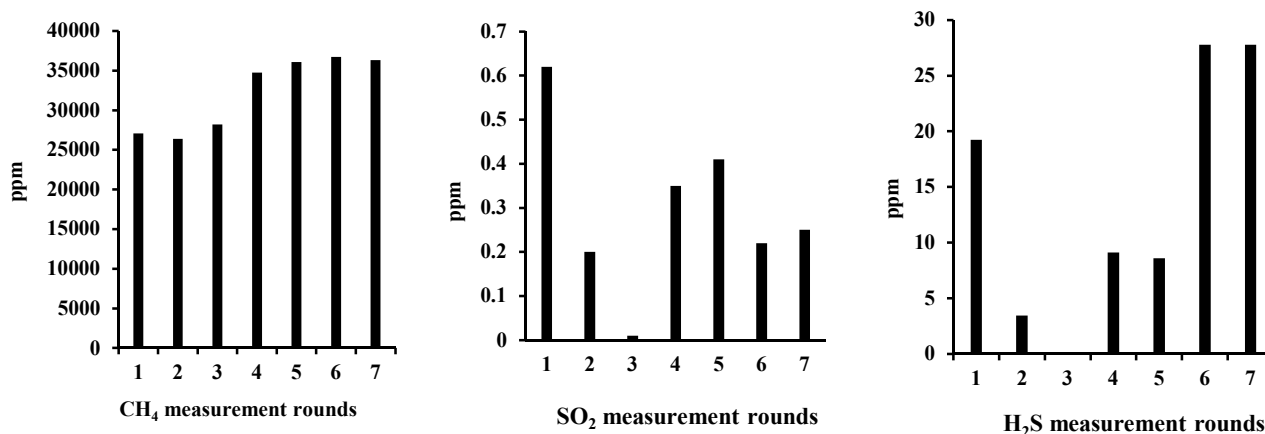


Fig. 2. Production measurements of CH₄, H₂S and SO₂ in the trench before recirculation (ppm)

شکل ۲- میزان گازهای CH₄، H₂S و SO₂ اندازه‌گیری شده در داخل ترانشه قبل از بازچرخانی (ppm)

گازهای CH₄، H₂S و SO₂ در نسبت بازچرخانی ۱۰:۱ به ترتیب ۳۹۹۰۰، ۲۱/۳۲ و ۰/۲ ppm به دست آمد. میزان تولید گاز متان در این نسبت کمتر از نسبت ۲۰:۱ بود. مانند نسبت قبلی، میزان تولید گازهای H₂S و SO₂ چندان قابل توجه نبود. بازچرخانی شیرابه، استفاده از خاک رس به عنوان پوشش نهایی و جداسازی و کمپوستینگ زباله تأثیر مثبتی بر تولید بیوگاز دارد (Li et al., 2015)

شکل‌های ۷ و ۸ تغییرات آلاینده‌های موجود در شیرابه را در نسبت بازچرخانی ۱۰:۱ نشان می‌دهد. همان گونه که قابل مشاهده است، بیشترین میزان کاهش COD، BOD، آمونیوم، فسفات، TSS و کدورت به ترتیب به میزان ۲۸۰/۵ (۴/۶ درصد)، ۱۲۲ (۴ درصد)، ۱۱۸۰ (۱۹ درصد)، ۶۰ (۱۴ درصد)، ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر (۱۴ درصد) و ۱۱/۲ NTU (۲۴ درصد) به دست آید. یک نگاه اجمالی بر نمودارها نشان می‌دهد تأثیر بازچرخانی با نسبت ۱۰:۱ کمتر از بازچرخانی با نسبت ۲۰:۱ بود. اگرچه میزان فلزات سنگین در این نمونه‌ها نیز قابل توجه نبود، بازچرخانی نیز بر حذف آنها چندان مؤثر نبوده است. در یک لندفیل با سیستم بیوفلتراسیون میزان کاهش COD و کلراید موجود در شیرابه به ترتیب ۵۵/۹۲ و ۶۴/۴۷ درصد بود (Biswas et al., 2006).

۳-۳- نتایج سنجش در نسبت ۵:۱

شکل ۹ نتایج حاصل از بازچرخانی با نسبت ۵:۱ را نشان می‌دهد.

۳-۱- نتایج سنجش در نسبت ۲۰:۱

شکل ۳ میزان گازهای تولیدی در نسبت ۲۰:۱ را نشان می‌دهد. همان گونه که قابل مشاهده است در این نسبت بیشترین میزان گازهای CH₄، H₂S و SO₂ به ترتیب برابر ۵۰۱۲۷، ۲۱/۱۲ و ۰/۲۳ ppm بود. نرخ تولید گاز H₂S در اولین اندازه‌گیری به طور قابل توجهی بیشتر بود. تزریق ۸۰ میلی‌گرم شیرابه به ازای هر لیتر زباله موجود در ترانشه باعث افزایش تولید بیوگاز تا ۳ برابر می‌شود (Rasapoor et al., 2020).

شکل‌های ۴ و ۵ تغییرات آلاینده‌های موجود در شیرابه در بازچرخانی با نسبت ۲۰:۱ را نشان می‌دهد. همان گونه که قابل مشاهده است، میزان COD، BOD، آمونیوم، فسفات، TSS و کدورت به ترتیب به میزان ۱۴۲۷۲ (۲۱ درصد)، ۸۸۹ (۲۰ درصد)، ۱۶۵۰ (۲۶ درصد)، ۱۰ (۲۳ درصد)، ۶۳ میلی‌گرم بر لیتر (۱۱ درصد) و ۱۱/۲ NTU (۲۳ درصد) کاهش یافت. همان طور که قابل پیش‌بینی بود، بازچرخانی تأثیر قابل توجهی بر کاهش میزان فلزات سنگین نداشت و در مورد برخی از آنها افزایش نیز اتفاق افتاد. پژوهش‌ها نشان داده است، تزریق ۸۰ میلی‌گرم شیرابه به ازای هر لیتر زباله باعث کاهش COD تا میزان ۷۳ درصد می‌شود (Rasapoor et al., 2020).

۳-۲- نتایج بازچرخانی در نسبت ۱۰:۱

شکل ۶ میزان تولید گازهای CH₄، H₂S و SO₂ را در نسبت بازچرخانی ۱۰:۱ نشان می‌دهد. بر این اساس بیشترین میزان



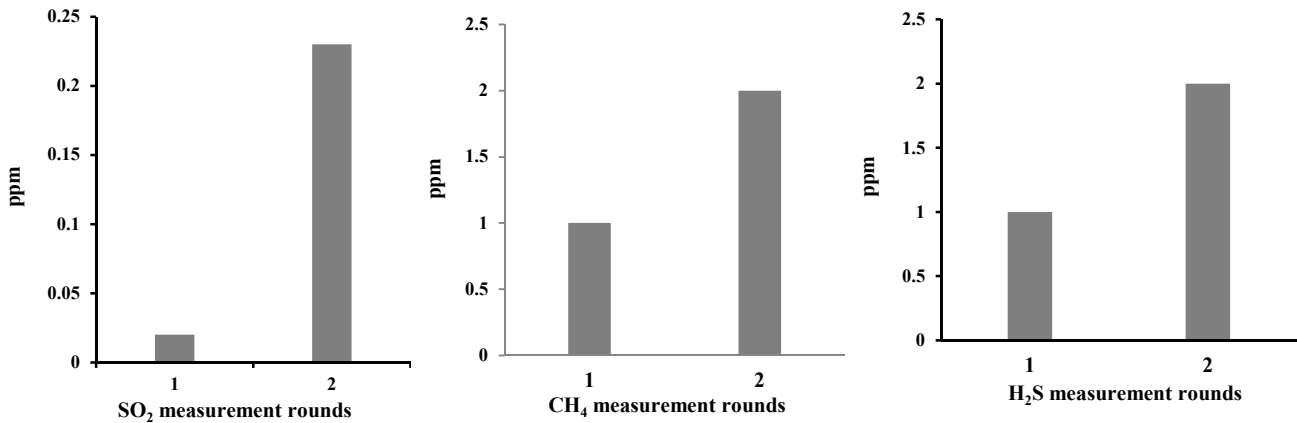


Fig. 3. Production bar charts of CH₄, H₂S and SO₂ in the trench at the recirculation ratio of 20:1 (ppm)
 شکل ۳- میزان تولید گازهای CH₄، H₂S، SO₂ در داخل ترانشه در بازچرخانی با نسبت ۲۰:۱ (ppm)

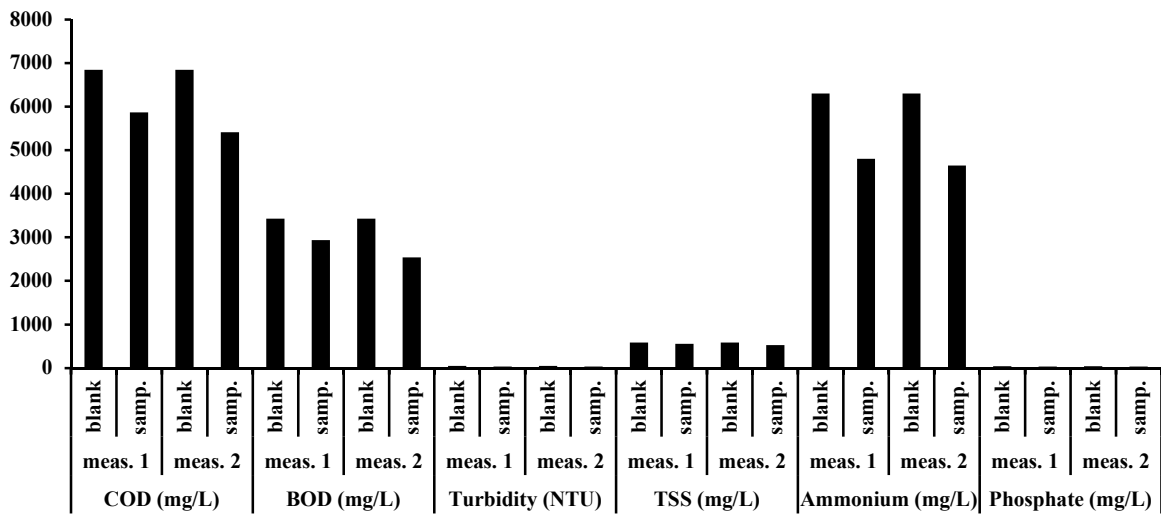


Fig. 4. Comparison of leachate pollutants at the recirculation rate of 20:1 (mg/L)
 شکل ۴- مقایسه آلاینده‌های موجود در شیرابه در بازچرخانی با نسبت ۲۰:۱ (mg/L)

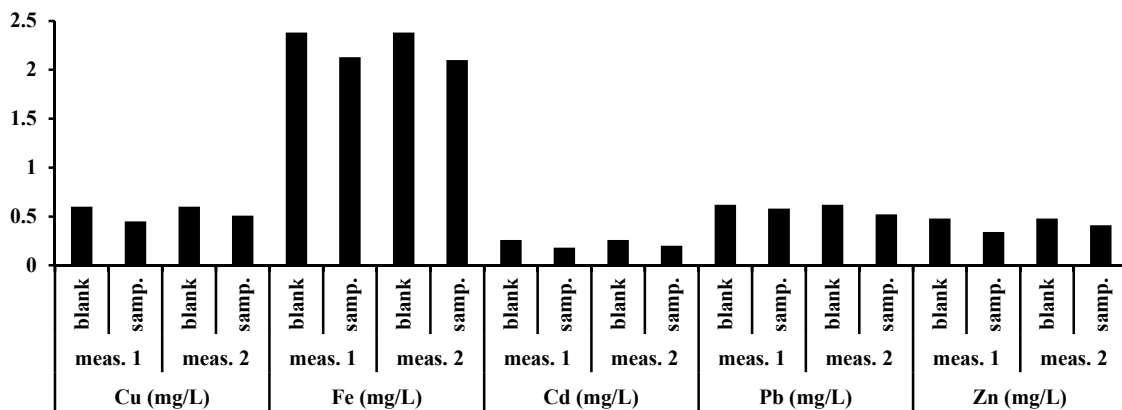


Fig. 5. Comparison of heavy metals at the recirculation rate of 20:1 (mg/L)
 شکل ۵- مقایسه فلزات سنگین موجود در شیرابه در بازچرخانی با نسبت ۲۰:۱ (mg/L)



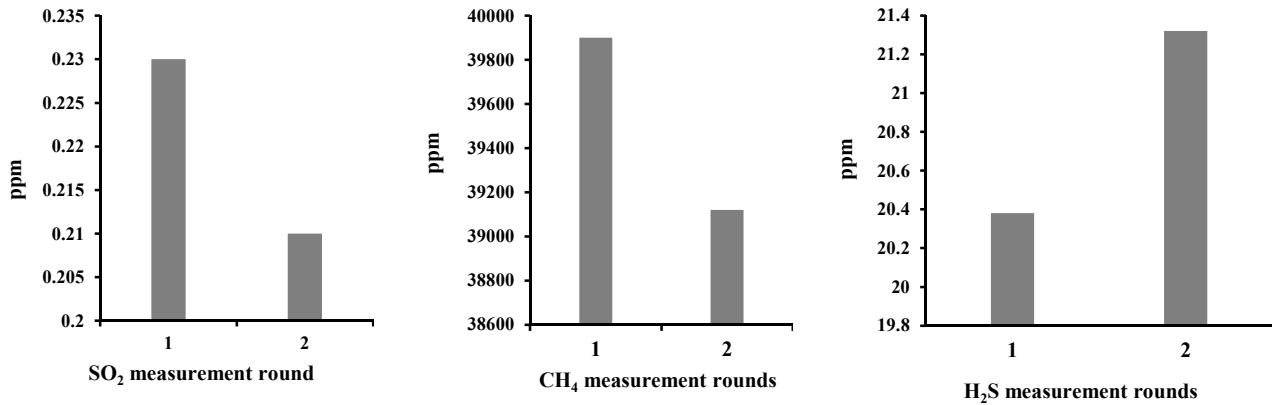


Fig. 6. Production bar charts of CH₄, H₂S and SO₂ in the trench at the recirculation ratio of 10:1 (ppm)
 شکل ۶- میزان تولید گازهای CH₄, H₂S, SO₂ در داخل ترانشه در بازچرخانی با نسبت ۱۰:۱ (ppm)

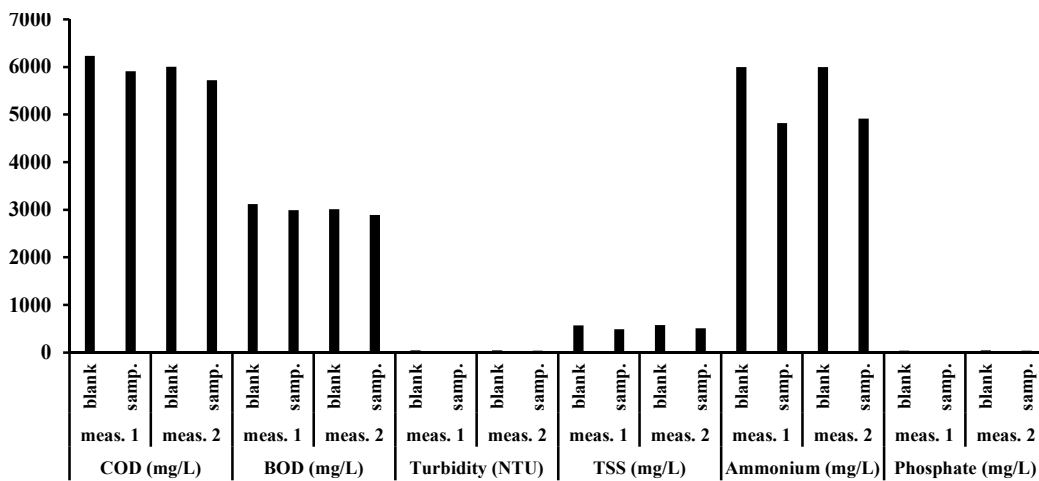


Fig. 7. Comparison of leachate pollutants at the recirculation rate of 10:1 (mg/L)
 شکل ۷- مقایسه آلاینده‌های موجود در شیرابه در بازچرخانی با نسبت ۱۰:۱ (mg/L)

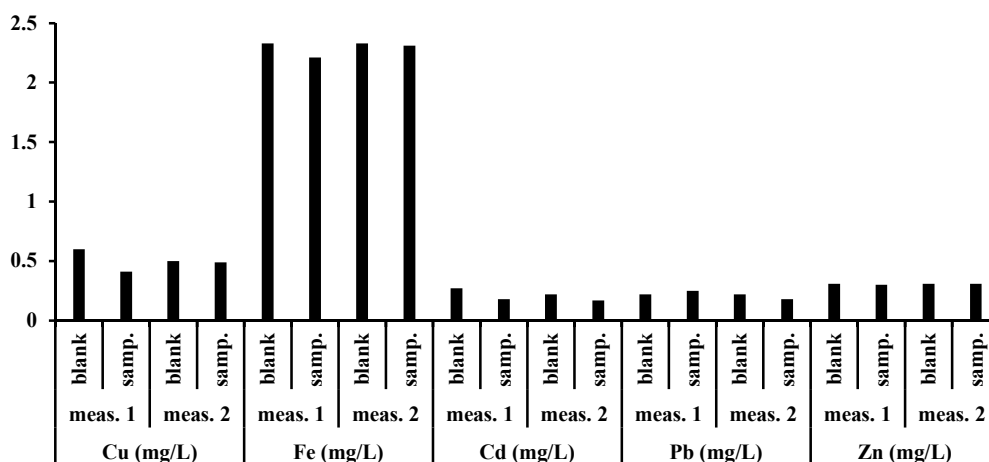


Fig. 8. Comparison of heavy metals at the recirculation rate of 10:1 (mg/L)
 شکل ۸- مقایسه فلزات سنگین موجود در شیرابه در بازچرخانی با نسبت ۱۰:۱ (mg/L)



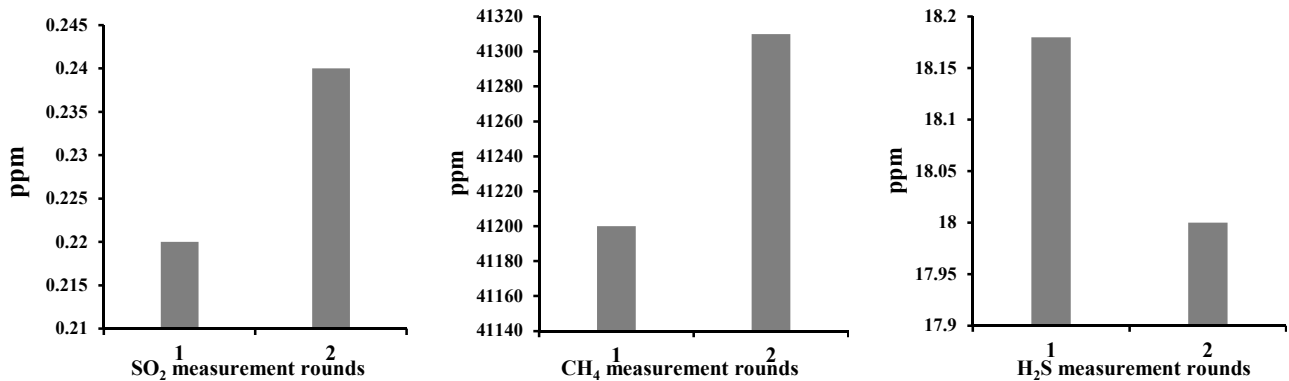


Fig. 9. Production bar charts of CH₄, H₂S and SO₂ in the trench at the recirculation ratio of 5:1 (ppm)

شکل ۹- میزان تولید گازهای SO₂, H₂S, CH₄ در داخل ترانشه در بازچرخانی با نسبت ۵:۱ (ppm)

۱۷۹ (۳/۶ درصد)، ۷ (۱۲ درصد)، ۵ میلی‌گرم بر لیتر (۰/۷ درصد) و ۱/۳ NTU (۳/۲ درصد) کاهش می‌یابد.

همان گونه که قابل پیش‌بینی بود، به دلیل فقدان تماس مناسب بین میکروارگانیسم‌های موجود در زباله و شیرابه و ایجاد شرایط اشباع در داخل ترانشه، بازچرخانی با این نسبت معقول و مؤثر به نظر نمی‌رسد. مانند نسبت‌های دیگر، بازچرخانی با این نسبت نیز تأثیر چندانی در کاهش فلزات سنگین موجود در شیرابه ندارد. بازچرخانی شیرابه علاوه بر کاهش آلاینده‌ای موجود در شیرابه باعث کاهش زمان تثبیت از چندین دهه به ۲ تا ۳ سال می‌شود. بازچرخانی در مقدار خیلی زیاد تأثیر منفی بر تجزیه بی‌هوازی دارد (Ishii and Furuichi, 2013, Aguilar-Virgen et al., 2014)

بر این اساس، بیشترین میزان تولید گازهای CH₄، H₂S و SO₂ به ترتیب برابر ۰/۲۴، ۴۳۱۰، ۱۸/۱۸ ppm اندازه‌گیری شد. تمام مراحل آزمایش که در نسبت‌های قبلی انجام شده بود در این نسبت نیز تکرار شد. اگرچه میزان شیرابه در نسبت بازچرخانی ۵:۱ به‌طور واضحی بیشتر از مقدار معمول بازچرخانی در مراکز دفن زباله است، این نسبت نیز به‌منظور مقایسه مقدار با نسبت‌های دیگر بررسی شد. بازچرخانی با احجام کمتر تأثیر بیشتری بر تجزیه بیولوژیکی و تولید بیوگاز خواهد داشت (Li et al., 2015).

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ تغییرات آلاینده‌های شیرابه را در بازچرخانی با نسبت ۵:۱ نشان می‌دهد. همان گونه که قابل مشاهده است، در این نسبت میزان COD، BOD، آمونیوم، فسفات، TSS و کدورت به ترتیب به میزان ۱۲۱ (۱/۹ درصد)، ۸۰ (۳ درصد)،

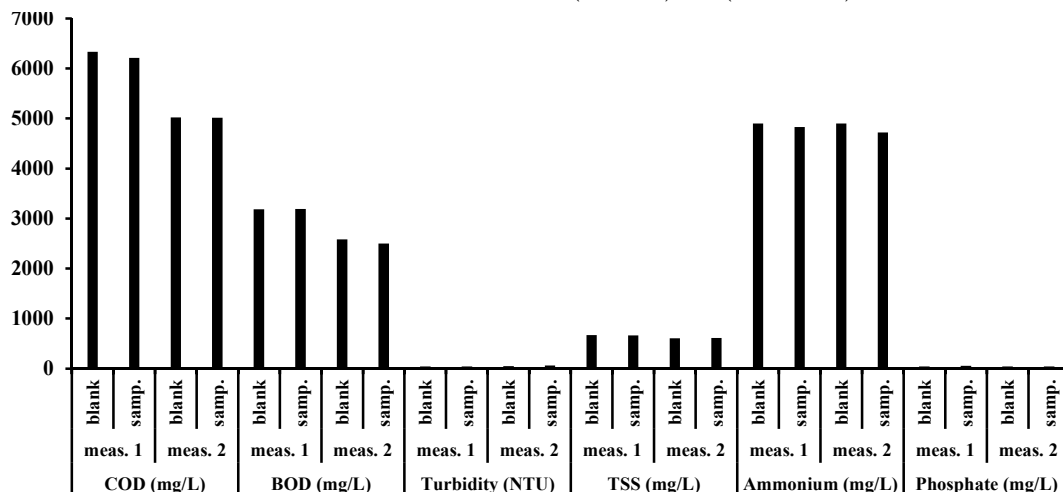


Fig. 10. Comparison of leachate pollutants at the recirculation rate of 5:1 (mg/L)

شکل ۱۰- مقایسه آلاینده‌های موجود در شیرابه در بازچرخانی با نسبت ۵:۱ (mg/L)



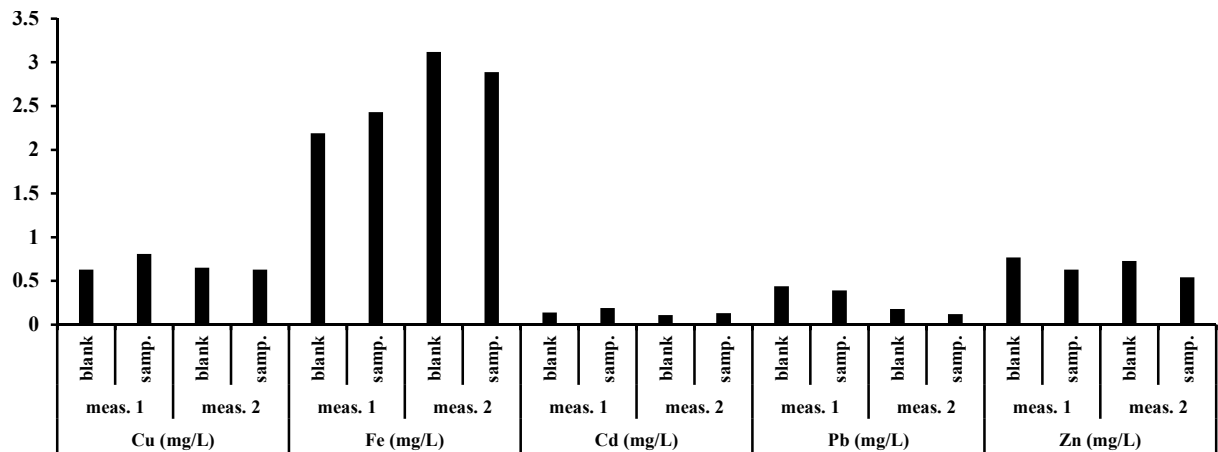


Fig. 11. Comparison of leachate pollutants at the recirculation rate of 5:1 (mg/L)

شکل ۱۱- مقایسه فلزات سنگین موجود در شیرابه در بازچرخانی با نسبت ۵:۱ (mg/L)

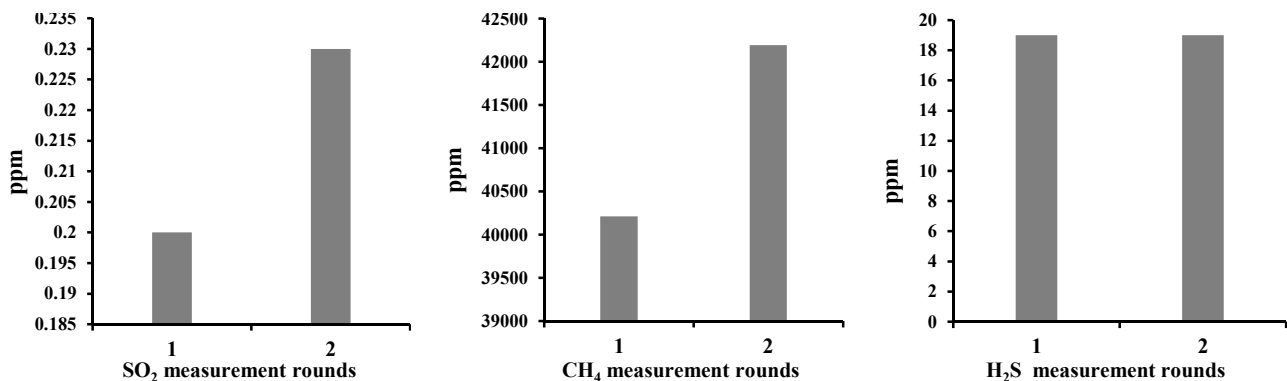


Fig. 12. Production bar charts of CH₄, H₂S and SO₂ in the trench at the recirculation ratio of 40:1 (ppm)

شکل ۱۲- میزان تولید گازهای CH₄, H₂S, SO₂ در داخل ترانشه در بازچرخانی با نسبت ۴۰:۱ (ppm)

تأثیر را در کاهش آلاینده‌های شیرابه و تولید بیوگاز دارد، می‌توان گفت بازچرخانی با هر نسبتی تأثیر مثبتی در کاهش آلاینده‌های شیرابه دارد (Fdez-Güelfo et al., 2012).

بر اساس نتایج به دست آمده در مراحل مختلف آزمایش با نسبت‌های مختلف، اگرچه میزان فلزات سنگین در نمونه‌های مورد آزمایش زیاد نبود، تصفیه مقدماتی به وسیله بازچرخانی نیز تأثیر چندانی در حذف آنها نداشت. تأثیر بازچرخانی در کاهش آلاینده‌های آلی (COD و BOD)، کدورت، TSS، آمونیوم و فسفات رضایت بخش بود. مقایسه مقدار پارامترها در نسبت‌های مختلف نشان داد، تأثیر بازچرخانی با نسبت ۲۰:۱ در تولید بیوگاز و کاهش آلاینده‌های شیرابه بیشتر از سایر نسبت‌ها است. افزایش رطوبت در داخل ترانشه میزان تولید گاز را تا ۴۵ درصد افزایش می‌دهد (Rasapoor et al., 2020). افزودن شیرابه به زباله میزان

۴-۳- نتایج سنجش در نسبت ۴۰:۱

مانند مراحل قبلی آزمایش در نسبت‌های دیگر، شیرابه در ابتدا به طور کامل از داخل ترانشه تخلیه و سپس تزریق شیرابه با نسبت ۴۰:۱ (۰/۶ مترمکعب) به داخل ترانشه انجام شد. شکل ۱۲ تغییرات تولید گازهای CH₄، H₂S و SO₂ را در این نسبت نشان می‌دهند. همان گونه که از اشکال بر می‌آید بیشترین مقدار گازهای CH₄، H₂S و SO₂ در این نسبت به ترتیب برابر ۱۹، ۴۲۱۹۲ و ۰/۲۳ ppm بود. اگرچه میزان تولید گازها در این نسبت تفاوت چندانی با مقدار آنها در سایر نسبت‌ها ندارد، میزان آنها در اندکی کمتر است. در این نسبت، به دلیل ظرفیت جذب اجزای خاک و زباله، شیرابه تجمع یافته در داخل لوله برداشت به میزانی نبود که قابل پمپاژ و برداشت باشد. در واقع قسمت عمده شیرابه جذب اجزای زباله و خاک شد. اگرچه بازچرخانی در نسبت بهینه بیشترین



بار میکربی و زمان تماس است. از میان نسبت‌های ۱:۲۰، ۱:۵، ۱:۱۰ و ۱:۴۰ بیشترین میزان حذف آلاینده‌های شیرابه و تولید بیوگاز در نسبت ۱:۲۰ به دست آمد. لازم به ذکر است سایر نسبت‌های بازچرخانی نیز در حذف آلاینده‌ها و افزایش تولید بیوگاز مؤثر بودند (Plocoste et al., 2016).

۵- نتیجه‌گیری

حجم بازچرخانی و زمان تناوب انجام آن دو فاکتور مهم در این پروسه است. تزریق با میزان کمتر از نسبت بهینه باعث عدم امکان دستیابی به شرایط بهینه می‌شود. بازچرخانی با میزان بیش از حالت نرمال نیز باعث ایجاد محیط اشباع و کاهش تأثیر فرایند در حذف آلاینده‌ها می‌شود.

به بیان دیگر هر ترانسه دفن، ظرفیت جذب و اثربخشی منحصربه‌خود را دارد که با ابعاد ترانسه و میزان و ماهیت زباله موجود در آن رابطه مستقیم دارد؛ به گونه‌ای که شیرابه بازچرخانی شده تا حجم مشخصی به‌طور کامل جذب اجزای خاک و شیرابه می‌شود و خروجی از بیوراکتور وجود ندارد و در نسبت‌های بازچرخانی بیشتر از ظرفیت ترانسه با پدیده اشباع و عدم اثربخشی مناسب روبه‌رو هستیم.

۶- قدردانی

مراتب قدردانی و سپاسگزاری خود را نسبت به مدیریت و کارکنان محترم سازمان مدیریت پسماند شهرداری‌های ملارد و صفادشت که با نویسندگان در انجام مراحل مختلف پژوهش همکاری داشتند، ابراز می‌دارند.

References

- Aguiar-Virgen, Q., Taboada-González, P., Ojeda-Benítez, S. & Cruz-Sotelo, S. 2014. Power generation with biogas from municipal solid waste: prediction of gas generation with in situ parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 412-419.
- Bae, W., Kim, S., Lee, J. & Chung, J. 2019. Effect of leachate circulation with ex situ nitrification on waste decomposition and nitrogen removal for early stabilization of fresh refuse landfill. *Journal of Hazardous Materials*, 371, 721-727.
- Białowiec, A., Wojnowska-Baryła, I. & Randerson, P. 2011. *Evapo-Transpiration in Ecological Engineering*. in Labeledzki, L. *Evapotranspiration*, InTech Pub., Rijeka, Croatia.

تولید گاز متان را تا ۳ برابر افزایش می‌دهد (Rasapoor et al., 2020). شرایط ثابت میکربی میزان اثربخشی سیستم را در کاهش آلاینده‌ها افزایش می‌دهد (Biswas et al., 2006, Wang et al., 1999). Manna et al., 2011، افزودن شیرابه به میزان معقول می‌تواند COD موجود در شیرابه را تا $\frac{3}{4}$ کاهش دهد. بازچرخانی ۲ سال بعد از دفن، تأثیر بیشتری در تولید بیوگاز دارد (Rasapoor et al., 2020).

۴- بحث

این پژوهش به بررسی تأثیر بازچرخانی بر نرخ تولید گاز و کاهش آلاینده‌های موجود در شیرابه پرداخت. در یک ترانسه با ابعاد $2/5 \times 3 \times 3$ متر و ۱۸ تن زباله، ۲۵ لیتر شیرابه تولید شد. این یعنی $1/4$ لیتر شیرابه به‌ازای هر تن زباله و این رقم برای این شهر با خصوصیات زباله مربوط به آن و شرایط آب و هوایی معقول به نظر می‌رسد. عبور شیرابه از میان اجزای زباله و خاک به‌دلیل برقراری فیلتراسیون فیزیکی - شیمیایی و تصفیه بیولوژیکی باعث کاهش آلاینده‌های موجود در شیرابه می‌شود.

در پژوهش‌های رساپور و همکاران، تروات و همکاران و حیدریان و همکاران نتایج مشابهی در خصوص تأثیر مطلوب بازچرخانی در کاهش بار آلودگی شیرابه به‌دست آمد. همچنین افزایش میزان فعالیت میکربی در محیط ترانسه باعث افزایش تولید بیوگاز شد (Rasapoor et al., 2020, Thorvat et al., 2017, Heydarian et al., 2016).

پژوهش پلوکوست و همکاران نشان‌دهنده این موضوع بود. سنجش نسبت بهینه بازچرخانی به‌منظور فراهم کردن مناسب‌ترین شرایط برای فعالیت میکربی و تجزیه زیستی از لحاظ میزان حجم



- Billa, L. & Pradhan, B. 2013. GIS modeling for selection of a transfer station site for residential solid waste separation and recycling. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 21(2), 487-498.
- Biswas, J., Chowdhury, R. & Bhattacharya, P. 2006. Kinetic studies of biogas generation using municipal waste as feed stock. *Enzyme and Microbial Technology*, 38, 493-503.
- Borja, R., Rincón, B., Raposo, F., Alba, J. & Martín, A. 2003. Kinetics of mesophilic anaerobic digestion of the two-phase olive mill solid waste. *Biochemical Engineering Journal*, 15, 139-145.
- Cesaro, A. & Belgiorno, V. 2014. Pretreatment methods to improve anaerobic biodegradability of organic municipal solid waste fractions. *Chemical Engineering Journal*, 240, 24-37.
- Converti, A., Borghi, A. D., Arni, S. & Molinari, F. 1999. Linearized kinetic models for the simulation of the mesophilic anaerobic digestion of pre-hydrolyzed woody wastes. *Chemical Engineering and Technology: Industrial Chemistry-Plant Equipment-Process Engineering-Biotechnology*, 22(5), 429-437.
- El-Mashad, H. M. & Zhang, R. 2010. Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. *Bioresource Technology*, 101, 4021-4028.
- Fdez-Güelfo, L., Álvarez-Gallego, C., Sales, D. & García, L. R. 2012. Dry-thermophilic anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste: methane production modeling. *Waste Management*, 32, 382-388.
- Heydarian, H., Azimian, M. & Mirzaie, A. 2016. Simulating and evaluating the effects of leachate recycling operation on landfills on a pilot scale. *The 2nd Conference of Engineering Science and Environmental Technology*, University of Tehran. Tehran. Iran. COI: CESET02-062. (In Persian)
- Iran Environmental Protection Organization. 1996. *Wastewater Emission Standards. Regulations for Preventing Water*. IEPO, Tehran, Iran. (In Persian)
- Ishii, K. & Furuichi, T. 2013. Estimation of methane emission rate changes using age-defined waste in a landfill site. *Waste Management*, 33, 1861-1869.
- Lema, J., Mendez, R. & Blazquez, R. 1988. Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment: a review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 40, 223-250.
- Li, Q., Qiao, W., Wang, X., Takayanagi, K., Shofie, M. & Li, Y. Y. 2015. Kinetic characterization of thermophilic and mesophilic anaerobic digestion for coffee grounds and waste activated sludge. *Waste Management*, 36, 77-85.
- Linke, B. 2006. Kinetic study of thermophilic anaerobic digestion of solid wastes from potato processing. *Biomass and Bioenergy*, 30, 892-896.
- Manna, L., Zanetti, M. & Genon, G. 1999. Modeling biogas production at landfill site. *Resources, Conservation and Recycling*, 26, 1-14.
- Markowski, M., Białobrzewski, I., Zieliński, M., Dębowski, M. & Krzemieniewski, M. 2014. Optimizing low-temperature biogas production from biomass by anaerobic digestion. *Renewable Energy*, 69, 219-225.
- McDougall, F. R., White, P. R., Franke, M. & Hindle, P. 2008. *Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory*, John Wiley & Sons. London, UK.
- Meima, J., Naranjo, N. M. & Haarstrick, A. 2008. Sensitivity analysis and literature review of parameters controlling local biodegradation processes in municipal solid waste landfills. *Waste Management*, 28, 904-918.
- Miao, L., Yang, G., Tao, T. & Peng, Y. 2019. Recent advances in nitrogen removal from landfill leachate using biological treatments—a review. *Journal of Environmental Management*, 235, 178-185.



- Mohseni, N., Omrani, G. & Harati, S. A. 2019. Estimating the potential of methane gas production from landfills in big cities of Iran (Tehran, Shiraz, Mashhad, Esfahan and Karaj). *Journal of Sustainability, Development and Environment*, 1(2), 35-49. (In Persian)
- Plocoste, T., Jacoby-Koaly, S., Petit, R. & Roussas, A. 2016. Estimation of methane emission from a waste dome in tropical insular area. *International Journal of Waste Resources*, 6(2), 1000211.
- Rasapoor, M., Young, B., Brar, R. & Baroutian, S. 2020. Improving biogas generation from aged landfill waste using moisture adjustment and neutral red additive case study: Hampton Downs's landfill site. *Energy Conversion and Management*, 216, 112947.
- Scaglia, B., Confalonieri, R., D'imporzano, G. & Adani, F. 2010. Estimating biogas production of biologically treated municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 101, 945-952.
- Syaichurrozi, I. & Sumardiono, S. 2013. Predicting kinetic model of biogas production and biodegradability organic materials: biogas production from vinasse at variation of COD/N ratio. *Bioresource Technology*, 149, 390-397.
- Tabet, K., Moulin, P., Vilomet, J., Amberto, A. & Charbit, F. 2002. Purification of landfill leachate with membrane processes: preliminary studies for an industrial plant. *Separation Science and Technology*, 37, 1041-1063.
- Thorvat, A., Shaha, S. & Varur, S. 2017. An experimental study of effect of recirculation on leachate characteristics through landfill biofilter. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 10(1), 351-357.
- Trebouet, D., Schlumpf, J., Jaouen, P. & Quemeneur, F. 2001. Stabilized landfill leachate treatment by combined physicochemical–nanofiltration processes. *Water Research*, 35, 2935-2942.
- Wable, O., Jousset, M., Courant, P. & Duguet, J. 1993. Oxidation of landfill leachates by ozone and hydrogen peroxide: a French example. *Proceedings of the International Symposium on Ozone-Oxidation Methods for Water and Wastewater Treatment*, Berlin, Germany, 26-28.
- Wang, J., Xia, F. F., Bai, Y., Fang, C. R., Shen, D. S. & He, R. 2011. Methane oxidation in landfill waste biocover soil: kinetics and sensitivity to ambient conditions. *Waste Management*, 31, 864-870.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

