

## رویکردی در طراحی محل دفن بهداشتی جهت تصفیه و استفاده از گازهای ناشی از تجزیه در شبکه گاز شهری

محمد جواد ذوقی<sup>۱\*</sup>

[Mj.zoqi@birjand.ac.ir](mailto:Mj.zoqi@birjand.ac.ir)

محمد رضا دوستی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱/۲۷

تاریخ دریافت: ۸۷/۶/۱۰

### چکیده

**زمینه و هدف:** ترکیبات اصلی بیوگاز خروجی از مراکز دفن زباله شامل دی اکسید کربن و متان است، که از تجزیه بی هوازی زباله ناشی می شود. میزان اهمیت جلوگیری از انتشار گاز مراکز دفن زباله (LFG) با توجه به پتانسیل تاثیر در گرمایش جهانی (GWP) گاز متان، که ۲۱ برابر بیشتر از تاثیر CO<sub>2</sub> در گرمایش جهانی است، مشهود است. در این مقاله روشی جدید در طراحی مراکز دفن زباله، برای جلوگیری از انتشار گاز دفنگاه زباله به محیط و جلوگیری از ورود هوا به دفنگاه زباله معرفی می گردد.

**روش بررسی:** روش ارائه شده در این مقاله، با استفاده از فشار منفی بالا در استخراج و ایجاد تغییر در لایه بالایی پوشش مراکز دفن زباله، که در نفوذ هوا تاثیر مهمی دارد، از نفوذ هوا به داخل مراکز دفن زباله جلوگیری می کند. همچنین در این مقاله برای بررسی جداسازی CO<sub>2</sub> از گاز مرکز دفن زباله به وسیله فرآیند جذب در محلول منو اتانل آمین و تزریق آن بر لایه بالایی پوشش مراکز دفن زباله، از نرم افزار Aspen Hysys استفاده شد.

**یافته‌ها:** با استفاده از سیستم جدید مقدار هوای ورودی به محل دپوی زباله کاهش پیدا کرده، و در نتیجه پالایش گاز مراکز دفن زباله با هزینه کم و کارایی بالا انجام می گردد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** سیستم جدید قابلیت اجرا بر روی مراکز دفن زباله معمولی را دارد. با استفاده از این طرح در تعداد بیشتری از مراکز دفن زباله، پالایش و بهره برداری از بیوگاز صرفه اقتصادی خواهد داشت، و افزایش در بهره برداری از بیوگاز سبب استفاده بیشتر از منابع انرژی تجدید پذیر و کاهش گازهای گلخانه ای می شود.

**واژه‌های کلیدی:** محل دفن بهداشتی، کاهش هزینه، پالایش بیوگاز، جداسازی دی اکسید کربن.

۱- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند. \* (مسئول مکاتبات)

۲- دانشیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند

## **An approach towards designing a new sanitary landfill system for treatment of emissions from decomposition in urban gas network**

**Mohammad Javad Zoqi** <sup>1\*</sup>

[Mj.zoqi@birjand.ac.ir](mailto:Mj.zoqi@birjand.ac.ir)

**Mohammad Reza Doosti** <sup>2</sup>

Admission Date: April 16, 2009

Date Received: August 31, 2008

### **Abstract**

**Background and Objective:** The main components of landfill biogas are methane and carbon dioxide, both of which are greenhouse gases. Methane is a greenhouse gas with global warming potential of 21 times greater compared to CO<sub>2</sub>. In this paper, a new method is proposed for landfilling to reduce landfill gas emissions and to prevent entry of air into the landfill.

**Method:** This paper presents a new landfill design and system for air ingress prevention and landfill gas containment. In addition, in this paper Aspen Hysys software was used for the dynamic simulation of separation of CO<sub>2</sub> from landfill gas by adsorption process in the ethanolamine solution.

**Findings:** The new system proffers more control over the biogas extraction and processes of anaerobic digestion than conventional landfills. In the new system, the landfill gas purification process becomes cheaper due to reduction of air ingress.

**Conclusion:** The new system can be applied on typical landfills. Using this new system, biogas purification and exploitation will become economical in more landfills, and the increased use of biogas will result in greater use of renewable energy sources and reduction of greenhouse gas emissions.

**Keywords:** New landfill system; cheaper treatment; LFG purification; CO<sub>2</sub> removal.

---

1- Assistant Prof., Department of Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran. \* (Corresponding Author)

2- Associate Prof., Department of Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

مقدمه

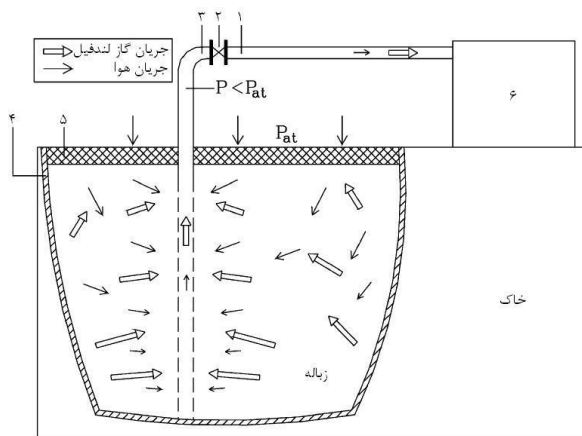
در رابطه با تخلیه و انهدام زباله در مراکز دفن زباله خطرات زیست محیطی معدودی وجود دارد، که این خطرات عبارتند از: آلودگی آب به وسیله شیرابه، مشکلات بوی خروجی از مراکز دفن زباله، خطر انفجار و احتراق، خطر خفگی، نابودی پوشش گیاهی منطقه و انتشار گازهای گلخانه ای (۱-۴). تمام مشکلاتی که در بالا ذکر شد دارای تاثیرات ناحیه ای هستند، به جز انتشار گاز گلخانه ای که دارای اثرات جهانی است. ترکیبات اصلی بیوگاز خروجی از مراکز دفن زباله شامل دی اکسید کربن و متان است، که از تجزیه بی هوازی ناشی می شود. میزان اهمیت جلوگیری از انتشار گاز مراکز دفن زباله (LFG) با توجه به پتانسیل تاثیر در گرمایش جهانی (GWP) گاز متان، که ۲۱ برابر بیشتر از تاثیر CO<sub>2</sub> در گرمایش جهانی است، مشهود است. در سال ۱۹۹۱، میزان غلظت گاز متان در اتمسفر حدود ۱/۷۲ ppm بود، که بیش از دو برابر زمان غیرصنعتی شدن یعنی ۰/۸ ppm می باشد (۳). دو راه برای حل مشکل گاز خروجی از مراکز دفن زباله وجود دارد.

روش اول، روش سنتی است، که شامل استخراج و سوزاندن LFG می شود. در این روش میزان فشار LFG موجود در مراکز دفن زباله به وسیله استخراج کم شده و سوزاندن LFG استحصال شده، سبب کاهش بوی مراکز دفن زباله می گردد. محصولات اصلی ناشی از سوزاندن LFG عبارتند از: دی اکسید کربن و آب، با توجه به این محصولات، میزان GWP از گاز مراکز دفن زباله به مقدار زیادی کاهش می یابد. روش دوم، مشابه روش اول است، با این تفاوت که، گاز استحصال شده به جای سوزانده شدن، در فعالیت های اقتصادی استفاده می شود. متان استحصال شده از مراکز دفن زباله، دارای ارزش گرمایی بالایی بوده و سوزاندن آن، سبب از بین رفتن این منبع با ارزش

انرژی می شود. با توجه به این ارزش گرمایی، از LFG استحصال شده از برخی مراکز دفن زباله، به عنوان سوخت خودروها، سوخت اولیه یا کمکی برای تولید برق و در شبکه گاز شهری استفاده می شود

جهت استخراج LFG از چاه های استخراج که در سرتاسر مرکز دفن زباله، نصب شده و به سیستم استحصال متصل هستند، استفاده می گردد. اگر سرپوش مرکز دفن زباله در مقابل نفوذ هوا به خوبی آب بندی نشده باشد، یک گرادیان فشار، به خصوص در اطراف چاه های استخراج به وجود می آید، این گرادیان به علت استخراج LFG به وجود آمده، و سبب نفوذ هوا به داخل مراکز دفن زباله می گردد. با نفوذ هوا به داخل مرکز دفن زباله از میزان تصفیه بی هوازی خواهد شد و همچنین هزینه پالایش و استفاده از LFG افزایش می یابد. شکل ۱، برش عرضی از یک مرکز دفن زباله است، که در آن با استفاده از روش های معمول LFG استخراج و به بهره برداری می رسد.

نمایه های استفاده شده در این شکل عبارتند از: ۱- شبکه لوله های استحصال گاز، ۲- سوپاپ کنترل ۳- چاه های جمع آوری LFG، ۴- مرز دفنگاه زباله، ۵- لایه سرپوش با نفوذ پذیری کم، که از یک یا چند لایه مختلف ساخته شده است. ۶- سیستم مکش، تصفیه و بهره برداری از LFG به صورت یک جعبه نمایش داده شده است، فرایندهایی که در این سیستم ها صورت می گیرد عبارتند از: جداسازی رطوبت از LFG، جدا کردن آلاینده ها و ناخالصی های موجود در LFG، در برخی مواقع، جداسازی O<sub>2</sub>، N<sub>2</sub> و CO<sub>2</sub> از CH<sub>4</sub>، نیز صورت می گیرد و در نهایت گاز بدست آمده مورد بهره برداری قرار می گیرد.



شکل ۱ - مقطع عرضی یک مرکز دفن زباله با طراحی معمولی جهت استخراج و بهره برداری LFG (فشار جو:  $p_{at}$ )

Figure 1. Cross section of a typical landfill for LFG extraction and operation ( $P_{at}$ : Atmospheric pressure)

مراکز دفن زباله می باشد، به طوری که بیش از یک سوم هزینه تصفیه را شامل می شود. فرایند تصفیه و جداسازی LFG، جهت استفاده در شبکه گاز شهری عبارتند از: جمع آوری و خشک کردن LFG، فشرده سازی گاز خشک شده، جداسازی  $CO_2$ ، جداسازی  $N_2$ ، فشرده سازی و انتقال محصول نهایی (۵). به همین علت در حالت معمول، از گاز مراکز دفن زباله، که از چاه های عمیق بدست آمده، جهت تولید سوخت استفاده می گردد و از مراکز دفن زباله کم عمق تر صرف نظر می شود.

#### روش کار

در مراکز دفن سنتی، برای کاهش مشکلات ناشی از حضور هوا در گاز مراکز دفن زباله، که در بالا ذکر شد، حد بالایی برای میزان اکسیژن (UOL)، در لوله های استحصال LFG، انتخاب می شود (۶). معمولاً با استفاده از روش های دستی یا روش های کنترل اتوماتیک مقدار متان در LFG در غلظتی ثابت، حفظ می شود، این غلظت برابر است با ارزش هدف متان (MOV)، و مقدار غلظت اکسیژن کمتر از UOL حفظ می گردد. با توجه به نوع استفاده، از LFG تصفیه شده، مقدار MOV تعیین می گردد.

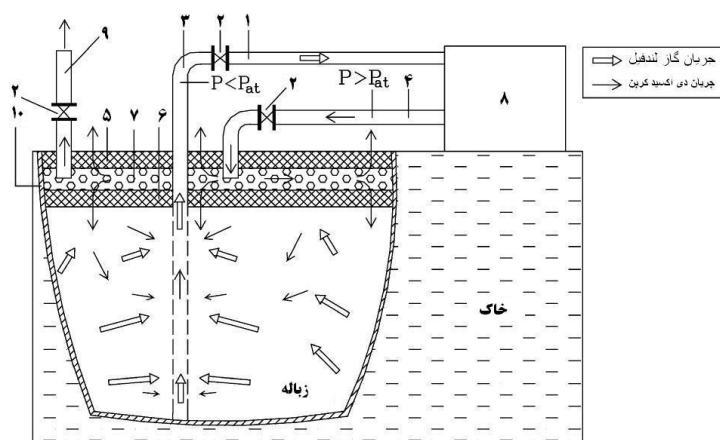
موقعی که غلظت اکسیژن موجود در LFG بیش از ۱۰٪ باشد، نشان دهنده وجود نقص در شبکه استخراج است که ناشی از نفوذ هوا به مرکز دفن زباله می باشد، در چنین حالاتی، برای حفظ ایمنی باید ایستگاه تنظیم از سیستم کلی، جدا

در این شکل برای سادگی، فقط یک چاه استخراج نمایش داده شده است، اما به طور معمول، شبکه ای از چاه ها با فواصل یکسان در سراسر مرکز دفن زباله مستقر می شود. با توجه به شکل ۱، نفوذ هوا در ارتفاع بالای مرکز دفن زباله و نزدیک به لایه سرپوش، شدیدتر و با افزایش عمق، کاهش می یابد. در عین حال جریان LFG به سمت عمق مرکز دفن زباله افزایش می یابد. در مراکز دفن زباله کم عمق، علت اصلی کاهش تولید متان، ناشی از نفوذ هوا است، به طوری که اگر غلظت اکسیژن، مساوی یا بیشتر از ۵٪ باشد، از تجزیه بی هوازی جلوگیری می شود، و در نتیجه استخراج و بهره برداری از LFG جهت تولید انرژی، توجیه اقتصادی نخواهد داشت. در این شرایط، غلظت گاز متان در چاه های استخراج، جهت استفاده در تولید انرژی کافی نیست (۴).

سیستم جدیدی که در این مقاله معرفی می گردد، در مواقعی که LFG، برای استفاده در شبکه گاز شهری تصفیه می شود، می تواند به خوبی مورد استفاده قرار گیرد. زیرا، هنگامی که LFG برای استفاده به عنوان سوخت، تصفیه می شود، باید غلظت متان موجود در LFG افزایش یابد، که این امر باعث افزایش هزینه های تصفیه می گردد. تصفیه گاز مراکز دفن زباله، جهت استفاده در شبکه گاز شهری، در مطالعه ای مورد بحث قرار گرفته است. بر طبق این مطالعه، پر هزینه ترین فرایند در جداسازی و تصفیه LFG، جداسازی  $N_2$  از گاز

هوا، مقاوم باشد، هزینه بالایی خواهد داشت. روشی که در این مقاله معرفی می شود، با استفاده از فشار منفی بالا در استخراج، از نفوذ هوا به داخل مراکز دفن زباله جلوگیری می کند، که دارای هزینه کم تر و قابل قبولی است. هنگامی که از LFG برای تولید انرژی استفاده می گردد، استفاده از این طرح و سیستم جدید پیشنهاد می شود. طرح جدید برای مراکز دفن زباله، در شکل ۲ نمایش داده شده است. نمایه های به کار رفته در شکل ۲، عبارتند از: ۱- لوله های استخراج، ۲- سوپاپ های کنترل، ۳- چاه های جمع آوری گاز مرکز دفن زباله، ۴- لوله های تزریق  $CO_2$ ، ۵ و ۶- سرپوش با نفوذ پذیری کم، که از یک یا چند لایه مختلف ساخته شده است، ۷- لایه با نفوذپذیری بالا، ۸- سیستم پمپاژ، سیستم تصفیه و بهره برداری از LFG، ۹- لوله های کنترل، ۱۰- مرکز دفن زباله.

شود. زمانی که غلظت اکسیژن در شبکه استخراج به مقادیر بالایی برسد، و در عین حال مقدار آن کمتر از غلظت UOL باشد، با وجود اینکه، نقص موجود در سیستم سرپوش، سبب ورود جریان قابل توجه ای از هوا به داخل دفنگاه زباله می شود، ایستگاه تنظیم قطع نخواهد شد. در چنین مواقعی، در قسمت فوقانی مراکز دفن زباله، مقدار غلظت اکسیژن بالاتر است و احتمالاً بر هضم بی هوازی در داخل دفنگاه زباله و در نتیجه میزان تولید متان، موثر خواهد بود. کاهش تولید متان، مقدار غلظت متان را به کمتر از حد MOV خواهد رساند، در نتیجه سوپاپ کنترل با توجه به میزان کاهش غلظت متان، بسته می شود، و از این طریق میزان گاز خروجی از چاه استخراج، کاهش می یابد. چاه های استخراج در چنین حالتی نمی توانند با تمام پتانسیل به تولید متان بپردازند، و این وضعیت، تا زمانی که در سیستم سرپوش نقص وجود دارد، ادامه می یابد. ساخت سرپوشی برای مرکز دفن زباله، که کاملاً در مقابل نفوذ



شکل ۲- طرح شماتیک از سیستم جدید جهت استخراج و بهره برداری از LFG (فشار جو:  $p_{at}$ )

Figure 2. Schematic design of the new system for LFG extraction and operation ( $P_{at}$ : Atmospheric pressure)

که به میزان کافی در دسترس باشد و نسبت به هوا برای پمپاژ به لایه نفوذ پذیر مناسب تر باشد، در این سیستم استفاده می گردد. مناسب ترین گاز  $CO_2$  خواهد بود، چرا که بر روی هضم بی هوازی تاثیر نمی گذارد، و همچنین دی اکسید کربن، همواره در گاز مرکز دفن زباله وجود دارد، لذا تزریق  $CO_2$  سبب افزایش هزینه های تصفیه و پالایش LFG نمی شود. همچنین، چنانچه LFG برای استفاده، در لوله های گاز، مورد

جلوگیری از ورود گاز از یک ناحیه مجاور، به وسیله سیستمی که در آن، از وسایل و موانع مختلف جهت ایجاد اختلاف فشار در لایه نفوذپذیر بین دو لایه نفوذناپذیر، استفاده می شود، یک ایده جدید نیست (۷). اما در گذشته کاربرد مهم این ایده، جلوگیری از خروج LFG به اتمسفر بوده است. در این مطالعه از همین ایده، جهت جلوگیری از خروج LFG به اتمسفر و ورود هوا به مرکز دفن زباله استفاده می شود. از گازی

می گردد.

### جداسازی CO<sub>2</sub> از گاز مراکز دفن زباله

یکی از اقتصادی ترین روش های جداسازی دی اکسید کربن از گاز متان جداسازی با استفاده از محلول آمین در برج جذب است (۱۳). در این فرآیند گاز محتوی CO<sub>2</sub> از پایین وارد برج تماس گاز-مایع می گردد، و از بالای برج، محلول آمین وارد می شود. در طول برج جریان مایع از بالا به پایین و جریان گاز از پایین به سمت بالا حرکت کرده و تماس گاز-مایع رخ می دهد. در طی این تماس CO<sub>2</sub> موجود در جریان گاز، جذب مایع می-گردد. در فاز مایع CO<sub>2</sub> با اجزاء دیگر وارد واکنش می شود. میزان حذف CO<sub>2</sub> توسط سرعت جذب، واکنش شیمیایی و شرایط تعادل مشخص می گردد. طراحی یک برج جذب نیازمند حل همزمان معادلات سرعت واکنش های شیمیایی، معادلات مربوط به تعادل و معادلات مربوط به شدت انتقال جرم با در نظر گرفتن تغییرات دما و فشار در برج است. انجام این محاسبات پیچیده با استفاده از نرم افزار های طراحی فرآیند امکان پذیر است. نرم افزار های Aspen Plus، Hysys و نرم افزار جدید Aspen Hysys که تلفیقی از این دو نرم افزار است، قویترین نرم افزارها در این زمینه هستند. دقت و صحت این نرم افزار ها در شبیه سازی فرآیند جذب CO<sub>2</sub> در محلول های آمین به اثبات رسیده است (۱۴-۱۷). در این قسمت امکان و چگونگی جداسازی CO<sub>2</sub> از گاز مرکز دفن زباله، با فرآیند جذب در محلول منو اتانل آمین (MEA) با استفاده از نرم افزار Aspen Hysys مورد بررسی قرار گرفته است.

واحد طراحی شده جهت حذف CO<sub>2</sub> از گاز دفنگاه زباله، از یک برج جذب و یک برج دفع تشکیل شده است. در این برج ها با استفاده از تعدادی سینی سطح تماس گاز-مایع مورد نیاز برای انتقال جرم ایجاد می شود. در داخل برج، مایع از بالا به پایین جریان پیدا می کند و CO<sub>2</sub> از گاز مرکز دفن زباله جذب مایع آمین می گردد. مایعی که با CO<sub>2</sub> تغلیظ شده است از پایین برج خارج می گردد.

برای این که محلول MEA دوباره قابل استفاده باشد، باید CO<sub>2</sub> جذب شده از آن جدا (دفع) گردد، بدین منظور از یک

پالایش قرار گیرد، CO<sub>2</sub> باید از آن جدا شود و کیفیت CO<sub>2</sub> جدا شده تنها برای فعالیت های صنعتی مناسب خواهد بود، سیستم جدید می تواند استفاده از CO<sub>2</sub> را بهینه کند.

در سیستم مورد بحث، مقدار کافی از گاز دی اکسید کربن به داخل لایه نفوذپذیر (در شکل ۲ با شماره ۷ نشان داده شده است)، از طریق لوله تزریق (با شماره ۴ در شکل ۲ نشان داده شده است)، پمپاژ می گردد تا از این طریق، فشار گاز در این لایه، بیشتر از فشار جو باشد. دی اکسید کربن که در لایه نفوذپذیر جریان دارد، از طریق دو لایه با نفوذپذیری کم (در شکل، با شماره ۵ و ۶ نشان داده شده است)، به اتمسفر و مرکز دفن زباله هدایت می شود. جریان گاز دی اکسید کربن، سبب کاهش نفوذ هوا به مرکز دفن زباله و کاهش خروج LFG از سطح سایت می گردد. اگر CO<sub>2</sub> موجود در لایه نفوذپذیر در فواصل زمانی مناسب، با CO<sub>2</sub> جدید جایگزین شود، سبب افزایش عملکرد سیستم می گردد به همین دلیل در لوله کنترل (در شکل ۲ با شماره ۹ نمایش داده شده است)، یک سوپاپ تعبیه شده است. تا زمانی که فشار CO<sub>2</sub> در داخل لایه ۷ (شکل ۲) ثابت باشد، می توان از کاهش ورود هوا، به مرکز دفن زباله مطمئن بود. حداکثر فشار منفی که در این سیستم می توان در شبکه استخراج استفاده کرد از دو طریق قابل تعیین می باشد. در روش اول، مدل های آزمایشگاهی از سیستم با چند نوع طراحی مختلف، ساخته شود، سپس می توان با آزمایشات مختلف، پارامترهای بهینه را تعیین کرد. در روش دوم، به عنوان اولین مرحله از پژوهش، از شبیه سازهای کامپیوتری که قابل اطمینان و کار آمد هستند، می توان استفاده کرد، از شبیه سازی کامپیوتری، برای جریان گاز در مراکز دفن زباله، در گذشته استفاده شده است. (۸-۱۲) با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری می توان، تخمین های اولیه را بدست آورد، که این باعث می شود احتیاج به مدل های آزمایشگاهی و آزمایشات مختلف، به شدت کاهش یابد، سپس مقدار نفوذپذیری لایه ۷ (شکل ۲)، فشار منفی استخراج و فشار تزریق CO<sub>2</sub>، پس از اجرای سیستم، بر روی مرکز دفن زباله، با استفاده از اندازه گیری در محل سایت، به طور دقیق تعیین

مشخصه های اصلی هر برج تماسی (جذب یا دفع) ارتفاع و قطر برج است. ارتفاع برج، تعداد مراحل تعادلی مورد نیاز برای انتقال جرم و تعداد سینی های برج به میزان خلوص مد نظر برای گاز خروجی بستگی دارد. هر چه خلوص بیشتری برای محصول مد نظر باشد تعداد سینی های برج بیشتر خواهد بود. قطر برج بر اساس شدت جریان گاز تعیین می شود. انجام محاسبه توسط نرم افزار زمانی شروع می شود که درجه آزادی سیستم برابر صفر گردد به عبارت دیگر تعداد معادلات با تعداد مجهولات برابر شود (۱۸). جدول ۱، داده های استفاده شده برای طراحی در این تحقیق را نشان می دهد. این داده ها بر مبنای شرایط گاز خروجی از یک مرکز دفن زباله می باشد.

برج دفع استفاده می شود. محلول MEA محتوی CO<sub>2</sub> بوسیله پمپ به برج دفع فرستاده می شود. جهت افزایش راندمان جداسازی، برج دفع دارای چند سینی می باشد. در قسمت تحتانی برج، توسط مبدل های گرمایی به محلول گرما داده می شود تا گاز CO<sub>2</sub> از آن دفع شود. با توجه به این که علاوه بر CO<sub>2</sub> مقداری از MEA نیز تبخیر می شود، در بالای برج یک مبدل گرمایی برای چگالش MEA و آب تبخیر شده قرار دارد. CO<sub>2</sub> به صورت گاز از این چگالنده خارج شده و MEA چگالیده شده به بالای برج جذب برگشت داده می شود.

**جدول ۱- داده های ورودی به نرم افزار Aspen Hysys برای طراحی برج جذب**

Table 1. Input data into Aspen Hysys software for designing an absorption tower

داده های ورودی به نرم افزار	
۲۰۰۰	شدت جریان گاز ورودی به برج (kg/hr)
۸۰	دمای گاز ورودی به برج (C)
۱۰۵	فشار گاز ورودی به برج (kpa)
۰/۵	کسر حجمی CO <sub>2</sub> در گاز ورودی به برج

مورد نیاز برای شروع فرآیند، با توجه به مقدار MEA مورد نیاز برای پر شدن برج از مایع (در حالت عملیاتی) قابل برآورد است. وزن مایع در داخل برج جذب در حالت عملیاتی برابر kg ۴۲۰۰ است و محلول استفاده شده در این طراحی دارای ۲۰٪ وزنی MEA می باشد. بنابر این MEA مورد نیاز برای یکبار پر شدن برج جذب kg ۸۴۰ خواهد بود. تقریباً همین مقدار از محلول نیز برای پر شدن برج دفع مورد نیاز است.

**بحث و نتیجه گیری**

سیستم جدید نسبت به مراکز دفن زباله سنتی دارای چندین مزیت است، که باعث می گردد، با راندمان اقتصادی بالا، امکان بهره برداری از گاز مرکز دفن زباله، میسر شود. طراحی جدید، مشکلات ناشی از نفوذ هوا به مرکز دفن زباله را به خوبی رفع می کند با کاهش ورود هوا به مرکز دفن زباله، ترکیبات تشکیل

طراحی به کمک نرم افزار Aspen Hysys نشان می دهد، برای حذف CO<sub>2</sub> از LFG با راندمان ۸۰٪ یک برج جذب با ۱۲ سینی (بازده کلی هر سینی ۷۵٪) مورد نیاز خواهد بود. اگر فاصله سینی ها از هم ۴۵cm در نظر گرفته شود و ۸۰cm فضا در بالای برج جهت جمع آوری گاز و ۸۰cm فضا در پایین برج برای جمع آوری مایع و توزیع کننده گاز ورودی در نظر گرفته شود، ارتفاع کل برج جذب ۷m خواهد شد. قطر مورد نیاز برای برج تناسب مستقیم با شدت جریان گاز دارد. به عبارت دیگر، اگر شدت جریان گاز تغییر کند، ارتفاع برج مورد نیاز تغییر نمی کند و فقط قطر مورد نیاز افزایش خواهد یافت. برای دفنگاه زباله فرضی با شدت جریان ورودی kg/hr ۲۰۰۰ گاز، قطر مورد نیاز برای برج ۸۰cm محاسبه گردید و شدت جریان مایع مورد نیاز kg/hr ۳۰۰۰ بدست آمد. با توجه به این که مایع استفاده شده بازیافت می گردد، مقدار MEA

دهنده LFG، تنها گازهای متان و دی اکسید کربن خواهد بود، این مطلب، تصفیه LFG را تا حد زیادی آسان و کم هزینه خواهد کرد. جداسازی CO<sub>2</sub> از CH<sub>4</sub>، نسبت به سایر مراحل تصفیه، آسان و ارزان تر است، در صورتی که، جداسازی N<sub>2</sub> از LFG، در تصفیه گاز مرکز دفن زباله، بیشترین هزینه را دارد (۵).

در برخی از مراکز دفن زباله، به علت اندازه کوچک مرکز دفن زباله و یا کافی نبودن تولید متان، از گاز استخراج شده، برای ایجاد انرژی یا گرما استفاده نمی شود، در این گونه از مراکز دفن زباله، می توان با اجرای طرح جدید، بازدهی تولید متان را افزایش داد، به طوری که استخراج و بهره برداری از LFG سود آور باشد. در هنگام ارزیابی سیستم جدید، باید هزینه های اجرای این سیستم، در نظر گرفته شود، که این هزینه های به نوع مواد مصرفی بستگی دارد. پمپاژ CO<sub>2</sub>، با توجه به استفاده از وسایل الکتریکی، نگه داری و تعمیرات، سبب افزایش هزینه می شود، اما به دلیل این که فشار بالایی مورد نیاز نیست، هزینه مربوط به پمپاژ، تاثیر چندانی بر هزینه های کل ندارد. CO<sub>2</sub> مصرفی در این طرح نیاز به کیفیت بالایی ندارد، لذا از تصفیه گاز مرکز دفن زباله تامین می گردد. این هزینه های اضافی باید با هزینه جداسازی N<sub>2</sub> و O<sub>2</sub> از LFG مقایسه شود. بنابراین، هزینه های اجراء و فعال سازی سیستم جدید باید با هزینه های تاسیس و فعال سازی فرایندهای جداسازی N<sub>2</sub> و O<sub>2</sub> مقایسه گردد. میزان هزینه هر دو سیستم (سنتی، جدید) تقریباً مشابه است، با این تفاوت که با استفاده از سیستم جدید، می توان از مراکز دفن زباله کوچکتر و کم عمق تر، برای بهره برداری و تصفیه LFG، استفاده کرد. این مساله در کاهش انتشار گاز متان و استفاده از انرژی های تجدید پذیر، موثر خواهد بود.

سیستم جدید به متصدیان مرکز دفن زباله این امکان را می دهد که با استفاده از فشار منفی در استخراج، بازدهی را بالا ببرند، بدون اینکه ترکیبات زاید وارد LFG شود. بازدهی بالاتر در مرکز دفن زباله، سبب افزایش تولید CO<sub>2</sub> می گردد، در نتیجه CO<sub>2</sub> مورد استفاده سیستم، که جهت جلوگیری از ورود هوا

استفاده می شود به مقدار کافی تامین می گردد. یکی دیگر از مزایای سیستم جدید، جلوگیری از تاثیر نوسان فشار جو، بر روی انتشار LFG است. بطور کامل، مشخص نیست که نوسان در فشار جو، تنها بر انتشار LFG تاثیر دارد یا اینکه بر تولید آن نیز موثر است (۱۹-۲۰). در صورتی که، تولید LFG تحت تاثیر نوسانات فشار جو باشد، در طراحی جدید از آنجا که میزان فشار، در لایه نفوذ پذیر ثابت است، می توان از این تاثیر بر میزان تولید LFG، جلوگیری کرد. به عبارت دیگر، با استفاده از سیستم جدید مرکز دفن زباله بصورت یک راکتور بسته که در شرایط ایده آل کنترل می شود، خواهد بود.

#### نتیجه

طرح جدید، برای مراکز دفن زباله ای که، LFG در آنها جهت استفاده در شبکه گاز شهری تصفیه می شود، پیشنهاد می گردد. طراحی جدید شامل سرپوش چند لایه است، که در آن لایه نفوذپذیر بین دو لایه با نفوذپذیری کم قرار گرفته است. در لایه نفوذ پذیر، جریان CO<sub>2</sub> سبب جلوگیری از ورود هوا به مرکز دفن زباله و خروج LFG به اتمسفر می شود.

مهم ترین مزیت سیستم جدید، تهیه LFG فاقد هوا می باشد، که در نتیجه فرایند تصفیه و هزینه های آن کاهش می یابد، این مطلب باعث افزایش تصفیه LFG و استفاده از انرژی های تجدید پذیر خواهد شد.

طراحی با استفاده از نرم افزار Aspen Hysys نشان داد که گاز مراکز دفن زباله، با استفاده از یک فرآیند ساده شامل یک برج جذب و یک برج دفع قابل تصفیه است. گاز متان حاصل می تواند برای توزیع به شبکه گاز شهری فرستاده شود. قسمتی از CO<sub>2</sub> جدا شده برای جلوگیری از نشت هوا به داخل دفنگاه زباله تزریق می شود و مابقی آن می تواند به عنوان یک محصول جانبی استفاده شود.

تعداد زیادی از مراکز دفن زباله که در حال حاضر، بهره برداری و تصفیه LFG در آن ها، توجیه اقتصادی ندارد، با استفاده از سیستم جدید بهره برداری از LFG در این مراکز دفن توجیه پذیر می گردد. اجراء طرح جدید برای تمام جوانب مراکز دفن زباله موجود، گران خواهد بود، لذا اجرای آن تنها در قسمت



8. Shih, T.M., Zheng, Y., Arie, M. and Zheng, J.C., 2013. Literature Survey of Numerical Heat Transfer (2010–2011). Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, Vol. pp.435-525.
9. Popov, V., Power, H. and Baldasano, J.M., 1998. BEM solution for design of trenches in multilayered landfills. Journal of environmental engineering, Vol. 124, pp.59-66.
10. Popov V, Power H., 1999. Landfill emission of gases into the atmosphere-boundary element analysis. Southampton: Computational Mechanics Publications/WIT Press.
11. Popov V., Power H., 1999. DRM-MD approach for the numerical solution of gas flow in porous media, with application to landfill. Engng Anal Boundary Elements, Vol, 23, pp.175-88.
12. Popov, V. and Power, H., 2010. Numerical analysis of efficiency of landfill venting trenches. Journal of environmental engineering, Vol. 126, pp.32-38.
13. Mofarahi, M., Khojasteh, Y., Khaledi, H. and Farahnak, A., 2008. Design of CO<sub>2</sub> absorption plant for recovery of CO<sub>2</sub> from flue gases of gas turbine. Energy, Vol. 33, pp.1311-1319.
14. Chu, F., Yang, L., Du, X. and Yang, Y., 2016. CO<sub>2</sub> capture using MEA (monoethanolamine) aqueous solution in coal-fired power plants: Modeling and optimization of the absorbing columns. Energy, Vol. 109, pp.495-505.
15. Yang, X., Rees, R.J., Conway, W., Puxty, G., Yang, Q. and Winkler, D.A., 2017. Computational modeling and simulation of CO<sub>2</sub> capture by

بالای مرکز دفن زباله پیشنهاد شده است، چون نفوذ هوا به مرکز دفن زباله از سطح بالایی اتفاق می افتد، و همچنین، مقدار هوا در عمق دفنگاه زباله بسیار ناچیز است، به این دلیل استفاده از سیستم جدید تنها برای قسمت بالایی مرکز دفن زباله کافی خواهد بود. این سیستم می تواند انتشار گازهای گلخانه ای را کاهش و استفاده از انرژی های تجدید شذنی را افزایش دهد.

#### Reference

1. Butt, T.E., Gouda, H.M., Baloch, M.I., Paul, P., Javadi, A.A. and Alam, A., 2014. Literature review of baseline study for risk analysis-The landfill leachate case. Environment international, Vol. 63, pp.149-162.
2. Yuan, H. and Shen, L., 2011. Trend of the research on construction and demolition waste management. Waste management, Vol. 31, pp.670-679.
3. Houghton, J.T., Callander, B.A. and Varney, S.K. eds., 1992. Climate change 1992. Cambridge University Press.
4. Nikiema, J., Brzezinski, R. and Heitz, M., 2007. Elimination of methane generated from landfills by biofiltration: a review. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, Vol. 6, pp.261-284.
5. Knaebel, K.S. and Reinhold, H.E., 2003. Landfill gas: from rubbish to resource. Adsorption, Vol. 9, pp.87-94.
6. Chakma, S. and Mathur, S., 2017. Modelling gas generation for landfill. Environmental technology, Vol. 38, pp.1435-1442.
7. Stevens, R, Nichols, P, Martin, M., 2010. System and method of gas dispersal and collection for preventing gas contamination. Unites States Patent No. 6065901.

19. Hong, J., Chen, Y., Wang, M., Ye, L., Qi, C., Yuan, H., Zheng, T. and Li, X., 2017. Intensification of municipal solid waste disposal in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 69, pp.168-176.
20. Krautwurst, S., Gerilowski, K., Jonsson, H.H., Thompson, D.R., Kolyer, R.W., Iraci, L.T., Thorpe, A.K., Horstjann, M., Eastwood, M., Leifer, I. and Vigil, S.A., 2017. Methane emissions from a Californian landfill, determined from airborne remote sensing and in situ measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, Vol. 10, p.3429.
- aqueous amines. *Chemical reviews*, Vol. 117, pp.9524-9593.
16. Alie, C., Backham, L., Croiset, E. and Douglas, P.L., 2005. Simulation of CO<sub>2</sub> capture using MEA scrubbing: a flowsheet decomposition method. *Energy conversion and management*, Vol. 46, pp.475-487.
17. Wang, Y., Zhao, L., Otto, A., Robinius, M. and Stolten, D., 2017. A Review of Post-combustion CO<sub>2</sub> Capture Technologies from Coal-fired Power Plants. *Energy Procedia*, Vol. 114, pp.650-665.
18. HYSYS, A., 2007. *Tutorials and Applications*. Aspen Technology. Inc., Burlington, Massachusetts.