مستخرج از پایان نامه

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره دو، اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ (۱۲۶-۱۱۳)

بررسی و ارزیابی تولید گاز متان با استفاده از مدل های ریاضی استاندارد توسط پسماند جامد شهری

سید علی اصغر شریعت حسینی [۱]

کاظم بشیر نژاد [۲]

پیمان باشی شهابی [۳*]

pbshahabi@mshdiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲**

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به افزایش روز افزون استفاده از تکنولوژی های زیست توده به ویژه گاز متان تولید شده حاصل از تجزیه مواد آلی موجود در پسماند های جامد شهری و استفاده از آن به عنوان منبع تولید انرژی، و اهمیت روش های مورد استفاده در تخمین گاز متان و تولید انرژی، مطالعه ای بر اساس استفاده از مدل های ریاضی جهت برآورد گاز متان تولیدی درمحل دفع پسماند مشهد انجام گردیده است.

روش بررسی: این پژوهش در سال ۱۳۹۸ در محل دفع پسماند شهر مشهد واقع در جاده مشهد – سرخس انجام گردیده است و روش مورد استفاده در این مطالعه براساس استفاده از مدل های ریاضی ارایه شده $IPCC$، توسط سازمان محیط زیست آمریکا EPA می باشد.

یافته ها: طبق محاسبات موازنه جرم و استوکیومتری انجام شده برای دو دسته از مواد سریع تجزیه پذیر و کند تجزیه پذیر، درحدود ۵۳/۸۹ در صد کل گاز های لندفیل را متان و ۴۶/۱۱ در صد را دی اکسید کربن تشکیل می دهد. طبق محاسبات انجام شده پتانسیل ظرفیت تولید متان، ۱۱۵/۳۳ متر مکعب متان بر مگا گرم پسماند و نرخ متان تولید شده ۰/۰۲۱ در سال می باشد،که داده های مورد نظر در نرم افزار لندجم مورد آنالیز قرار گرفت .

بحث و نتیجه گیری: نتایج نشان می دهد در سال ۱۴۱۴ بیشترین دبی حجمی متان تولید شده $۲/۶ \times ۱۰^{۷}$ متر مکعب بر سال است. همچنین مقدار ارزش حرارتی بالا و پایین گاز لندفیل به ترتیب ۲۱/۴۸۴ و ۱۹/۳۶۱ مگاژول بر متر مکعب می باشد. در صورت استفاده مستقیم گاز لندفیل در مولد های برق، در سال ۱۴۱۴ بیشترین توان خالص خروجی با ارزش حرارتی بالا و پایین گاز لندفیل به ترتیب ۱۱۵۰۳/۶۳۳کیلو وات و ۱۰۳۶۶/۸۳ کیلو وات قابل حصول است .

واژه های کلیدی : بیوگاز، پسماند جامد شهری، لندفیل، نرم افزار لند جم.

---

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی انرژی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

۲ - استادیار، گروه مهندسی انرژی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

۳ - استادیار، گروه مهندسی انرژی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. * (مسوول مکاتبات)

J. Env. Sci. Tech., Vol 26, No. 2, May, 2024

Investigation and evaluation of methane production using standard mathematical models by municipal solid waste

Seyed Ali Asghar Shariat Hosseini [1]
Kazem Bashirnezhad [2]
Peyman Bashi Shahabi [3*]
pbshahabi@mshdiau.ac.ir

Admission Date: May 23, 2021 Date Received:January 20, 2021

Abstract

Background and Objective: Due to the increasing use of biomass technologies, especially methane gas produced from the decomposition of organic matter in municipal solid waste and its use as a source of energy production, and the importance of methods used in estimating methane gas and Energy production, a study based on the use of mathematical models to estimate the methane gas produced at the Mashhad landfill.

Material and Methodology: This research was conducted in 1398 in Mashhad. The method used in this study is based on the use of IPCC mathematical models developed by the US Environmental Protection Agency (EPA).

Findings: According to mass balance and stoichiometric calculations performed for two categories of fast biodegradable and slow biodegradable materials, about 53.89% of the total landfill gases are methane and 46.11% are carbon dioxide. According to the calculations, the potential for methane production capacity is 115.33 cubic meters of methane per megagram of waste and the methane production rate is 0.021 per year. The data were analyzed in Landgem software.

Discussion and Conclusion: According to the results obtained in 1414, the maximum volumetric flow of methane produced is 2.6×10^7 cubic meters per year. Also, the high and low thermal values of landfill gas are 21.484 and 19.361 megajoules per cubic meter, respectively. In case of direct use of landfill gas in power generators, in 1414, the highest net output power with high and low thermal value of landfill gas can be obtained 11503.633 kw and 10366.83 kw, respectively.

Keywords: Biogas, Municipal Solid Waste, Landfill, Landgem Software.

1- M.Sc , Department Of Energy Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad , Iran.
2- Assistant Professor, Department Of Energy Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran.
3- Assistant Professor, Department Of Energy Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran. * (*Corresponding Author*)

مقدمه

در طی سال های اخیر کشور ایران به ویژه شهر مشهد با رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی و تقاضای انرژی رو به رو بوده است، که به موجب آن باعث گسترش واحدهای صنعتی، تجاری و مسکونی و افزایش تولید پسماند و آلاینده های مربوط به آن‌ها شده است. درحال حاضر بیشترین میزان تولید پسماند، مربوط به پسماندهای شهری می باشد. امروزه استفاده و بهره گیری از گاز تولید شده در محل دفن پسماند، به دلیل ارزان بودن نسبت به روش های دیگر تولید انرژی مانند زباله سوز ها، هاضم های بی هوازی و سایر تکنولوژی های زیست توده بیشتر استفاده می شود. گازهای محل دفن که از واکنش های زیست شیمیایی روی مواد آلی تجزیه پذیر موجود در زباله در شرایط بی هوازی به دست می آید، به اختصار گاز لندفیل نامیده می شود (۱). در کشورهای پیشرفته، طراحی مراکز دفن با نگاه بهره برداری از حداکثر انرژی قابل استحصال از آنها انجام می شود. به منظور بهره برداری حداکثری از گاز متان تولید شده در لندفیل،گاز فوق پس از جمع آوری به منظور تولید الکتریسیته به دستگاه های مولد نیرو و یا توربین ها و ژنراتورها منتقل می‌شود.

مطالعات زیادی در ایران برای برآورد گازهای محل دفن به ویژه متان انجام شده است که می توان به این موارد زیر اشاره کرد :

کوشکی نسب و همکاران در سال ۱۳۹۹، برآورد گازهای محل دفن پسماندهای شهری شهرکوهدشت لرستان را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که حداکثر میزان انتشار گازها در سال ۱۳۹۷ است، که میزان کل گاز لندفیل، متان، دی اکسید کربن و مواد آلی غیرمتانی بر حسب مگاگرم در سال به ترتیب ۷۰۱۳، ۱۸۷۳، ۵۱۴۰ و۸۰/۵۲ می باشد (۱). رضایی و ابو الحسنی در سال ۱۳۹۷، ارزیابی میزان تولید گازهای زیست محیطی در لندفیل جهت استحصال انرژی (مطالعه موردی لندفیل شماره ۱ شاهین شهر) را مورد مطالعه قرار دادند ، بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین گاز متان و دی اکسیدکربن تولید شده به ترتیب در حدود ۳۵۰ و ۹۵۰ هزار کیلوگرم در سال ۱۳۹۲ و کمترین مقدار متان و دی اکسیدکربن تولید شده به ترتیب در حدود ۵۷ و ۱۵۷ هزار کیلوگرم در سال۱۴۲۲ برآورد شده است. حجم کل گازهای تولید شده در این لندفیل طی ۳۰ سال حدود ۱۵ میلیون مترمکعب برآورد شده است (۲). احمدی و ملک پور در سال ۱۳۹۹، پتانسیل‌سنجی بهره برداری انرژی از لندفیل سراوان در شهر رشت با رویکرد ارزیابی چرخه حیات را مورد بررسی قرار دادند، نتایج محاسبات نشان داد که در سناریوی اول و دوم مقدار کل بیوگاز تولیدی در لندفیل به ترتیب بالغ بر ۶۶۰۰ و ۱۰۵۰۰ گیگاگرم است. هچنین مقدار خطای نسبی نرم افزار لندجم نسبت به روش موازنه جرم در پیش‌بینی مقدار متان تولیدی برابر با ۳/۳ درصد برآورد شد. گاز استحصال شده در سناریوی اول و دوم و از سال ۱۴۰۰ به بعد به طور متوسط برابر با ۱۵۰۰ فوت مکعب در دقیقه است. با توجه به شاخص‌های LCA و ارزیابی اقتصادی، تولید الکتریسته توسط موتورهای احتراق داخلی به عنوان مناسب‌ترین روش جهت مدیریت گاز بعد از سال ۱۴۰۰ پیشنهاد شد، که علاوه بر کاهش ۳۰ درصد در شاخص گرمایش جهانی، سالانه به میزان ۱۱۰۰۰ مگاوات ساعت برق تولید می‌کند (۳). فهیمی نیا و همکاران در سال ۱۳۹۲، انتشار گاز متان از مرکز دفن بهداشتی زباله شهر قم با استفاده از برنامه لندجم را مورد بررسی قرار دادند، نتایج مطالعه نشان داد که در سال۱۳۸۹ حدود ۲۲۵ متر مکعب بر ساعت، در سال ۱۳۹۵حدود ۹۹۸ متر مکعب بر ساعت، در سال ۱۴۰۰ حدود ۱۴۳۴ متر مکعب بر ساعت و در سال ۱۴۰۶حدود ۱۷۹۶ متر مکعب بر ساعت گاز در این مرکز دفن تولید خواهد شد. همچنین سرعت تولید گاز از سال ۱۳۹۵ با شیب کمتری ادامه پیدا خواهد کرد (۴).

هدف از این مطالعه برآورد دقیق تر میزان بیوگاز تولید شده و دستیابی به حداکثر میزان توان و انرژی الکتریکی تولید شده می باشد که به همین منظور برای دستیابی به چنین هدفی از معادلات موازنه جرم و استوکیو متریک به همراه مدل های ریاضی استفاده شده است که در نهایت این موضوع باعث افزایش راندمان نیروگاه های بیوگاز، کاهش آلاینده های زیست محیطی

و تولید انرژی اقتصادی و به صرفه خواهد شد. لذا به همین منظور محل دفع پسماند شهر مشهد درجاده مشهد - سرخس مورد مطالعه قرار گرفته است. شهر مشهد دارای جمعیتی بیش از ۳ میلیون نفر می باشد. میانگین سرانه ی تولید زباله ی خانگی در این شهر به ازاء هر نفر حدود ۷۰۰گرم در روز گزارش شده است. زباله های جمع آوری شده از سطح شهر مشهد توسط کامیون های زباله کش به محل دفع زباله هدایت می شود. زباله-های دارای درصد بالای مواد آلی جمع آوری شده از شهر، به سمت سالن دریافت کارخانه‌ی کمپوست هدایت می شود ،و سایر مواد زائد شامل نخاله های ساختمانی، لجن و زباله های حاوی درصد پایین مواد آلی به محل دفن زباله هدایت می شوند (۵). به طور میانگین روزانه حدود ۶۰۰ تن زباله که حدود۳۰ درصد کل زباله ی شهر مشهد را تشکیل می دهد، به کارخانه‌ی تفکیک پسماند منتقل می شود. این کارخانه وظیفه‌ی بازیابی و استفاده ی بهینه از مواد آلی موجود در زباله های خانگی را برعهده دارد. که از این ۶۰۰ تن حدود ۴۷ درصد از مواد آلی جداسازی می شود و به مرحله کمپوست وارد می شود، حدود ۳ درصد از مواد غیر آلی جهت بازیافت به کارخانه بازیافت منتقل می شود وحدود ۵۰ درصد دیگر به محل دفن هدایت می شود (۵).

ویژگی زباله جامد شهری و نحوه تولید گاز در لندفیل

طبق تعریف سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) اجزاء پسماند جامد شهری شامل پسماند جمع آوری شده از اماکن عمومی، واحدهای مسکونی، تجاری، مؤسساتی و صنعتی، نظیر کاغذ، چوب، زبالهٔ باغچه و حیاط،پسماندهای غذایی، پلاستیک، چرم، لاستیک، فلز، شیشه می باشند (۶). به علت وجود میکروارگانیسم ها در خاک و تغذیه آن ها از مواد آلی موجود در پسماند جامد شهری به عنوان منبع کربن و یا انرژی خود و در طی فرایند تجزیه بیولوژیکی پسماند شهری حجم زیادی گاز مانند دی‌اکسید کربن، متان و ترکیبات غیر متانی آلی تولید می‌گردند، مجموعه این گازها را گاز لندفیل می نامند (7).

روش بررسی

روش مورد استفاده در این مطالعه براساس استفاده ازمدل های ریاضی ارایه شده *IPCC* ، توسط سازمان محیط زیست آمریکا *EPA* می باشد، که توسط نرم افزار *Landgem* مورد آنالیز قرار می گیرد. نرم افزار *Landgem* برنامه ای است که محاسبات مربوط به نرخ تولید گاز را در مقاطع زمانی مختلف را انجام می دهد. این نرم افزار توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا *EPA* و مرکز تکنولوژی هوای پاک تهیه شده است و می‌تواند به عنوان یک ابزار تخمین میزان تولید متان، دی اکسید کربن، ترکیبات آلی غیر متانی، کل گاز لندفیل وکل آلاینده های منحصر به فرد هوا مورد استفاده قرار بگیرد. نتایج به دست آمده از این مدل سازی می تواند بر ای تخمین متان قابل بازیافت موجود برای پروژه های استفاده از گاز لندفیل به عنوان منبع انرژی به کار برده شوند(8) . در این مطالعه به منظور برآورد میزان پسماند پذیرش شده بازه زمانی سال های ۱۳۹۸- ۱۴۱۳ مورد بررسی قرار گرفته است . مطابق آمار موجود جمعیت شهر مشهد در سال ۱۳۹۵ برابر ۳۳۷۲۶۶۰ نفر بوده،که با نرخ رشد جمعیت ۱/۷۲ درصد پیش بینی می گردد تا سال ۱۴۱۳ میزان جمعیت ۴۵۸۴۴۴۶ نفر برسد (9). نرخ سرانه مصرف فعلی در حدود ۰/۷ کیلوگرم به ازاء هر نفر در روز می باشد، وظرفیت پذیرش کارخانه تفکیک پسماند مشهد ۶۰۰ تن در روز می باشد، مقدار درصد بازیافت پسماند در کارخانه تفکیک ۳ درصد می-باشد، که در نهایت ۴۷درصد ظرفیت خروجی کارخانه تفکیک که دارای بیشترین مواد آلی ارگانیک می باشد، به عنوان تولید کود آلی مورد مصرف قرار می گیرد (5)، و ۵۰ درصد باقی مانده که دارای بیشترین مواد غیرآلی با ارزش حرارتی بالا (مناسب جهت استفاده در نیروگاه زباله سوز) می باشد، و دفن مستقیم آن به دلیل عدم تجزیه پذیری در کوتاه مدت و میان مدت، توجیه علمی و اقتصادی ندارد، و همچنین استفاده از این مقدار پسماند کمترین اثر در تولید بیوگاز را دارد، که به همین منظور از مقادیر فوق در این مطالعه صرف نظر و در محاسبات تولید بیوگاز نهایی لحاظ نمی گردد .

آنالیز فیزیکی پسماند

ترکیب فیزیکی پسماند شهر مشهد مطابق جدول ۱گزارش گردیده،که این جدول اساس محاسبات لندفیل خواهد بود (5).

جدول۱- آنالیز فیزیکی پسماند

Table 1. Physical analysis of waste

اجزاء	پسماند غذایی	کاغذ و مقوا	چوب و مواد	پلاستیک نرم	پلاستیک سخت	پلی استایرن	پت	شیشه	فلزات	لاستیک	پارچه و منسو جات	سایر مواد	جمع
درصد %	۶۶/۱	۵/۸	۵/۵	۹/۶	۰/۷	۱/۶	۱/۷	۱/۵	۱/۲	۰/۲۳	۲/۵	۳/۵۷	۱۰۰
رطوبت %	۶۱/۲	۱۶	۷/۹	۱۴/۷	۶/۵	۹/۸	۷/۸	۸/۴	۸/۴	۶/۵	۲۴/۵	۸	

آنالیز شیمیایی پسماند شهری

جدول ۲ آنالیز شیمیایی پسماندهای شهری می باشد و می تواند به عنوان مبانی محاسبات استوکیو متریک و موازنه جرم مورد استفاده قرار بگیرد. ماکروشیمی پسماند یکی از ورودی های بسیار مهم در تخمین میزان گازهای استوکیومتریک و انرژی نهایی می باشد (10).

جدول۲- آنالیز شیمیایی پسماند شهری

Table 2. Chemical analysis of municipal waste

اجزاء	کربن (*C*)	هیدروژن (*H*)	اکسیژن (*O*)	نیتروژن (*N*)	گوگرد (*S*)	خاکستر (*ASH*)
مواد غذایی	۴۹/۰۶	۶/۶۲	۳۷/۵۵	۱/۶۸	۰/۲	۴/۸۹
کاغذ ومقوا	۴۳/۴۱	۵/۸۲	۴۴/۳۲	۰/۲۵	۰/۲	۶
پلاستیک نرم	۶۰	۷/۲	۲۲/۸	۰	۰	۱۰
پلاستیک سخت	۶۷/۲۱	۹/۷۲	۱۵/۸۲	۰/۴۶	۰/۰۷	۶/۷۲
پلی استایرن	۸۷/۱	۸/۴۵	۳/۹۶	۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۲۶
پت	۸۴/۵۴	۱۴/۱۸	۰	۰/۰۶	۰/۰۳	۱/۱۹
لاستیک	۷۷/۶۵	۱۰/۳۵	۰	۰	۲	۱۰
فلزات	۴/۵۴	۰/۶	۴/۳	۰/۰۵	۰/۰۱	۹۰/۵
پارچه و منسوجات	۴۶/۱۹	۶/۴۱	۴۱/۸۵	۲/۱۸	۰/۲	۳/۱۷
شیشه	۰/۵۲	۰/۰۷	۰/۳۶	۰/۰۳	۰	۹۹/۰۲
چوب	۴۹/۷	۶/۱	۴۲/۵	۰/۱	۰/۲	۱/۴

دسته بندی موادآلی

به طور کلی مواد آلی موجود در پسماند شهری می توانند به دو دسته تقسیم بندی شوند : ۱- موادی که به سرعت تجزیه می شوند (۳ماه تا ۵ سال) که شامل پسماند های غذایی وکاغذ و مقوا می باشند ۲- موادی که به کندی تجزیه می شوند (بالای ۵۰ سال)، این دسته از مواد شامل موادی نظیر چوب و مواد سلولزی، لاستیک و پارچه ومنسوجات می شوند (۱۱) .

موازنه جرم و استو کیو متریک

حجم گاز آزاد شده در زمان تجزیه بیهوازی را می توان از راه‌های متعددی برآورد کرد به عنوان مثال اگر اجزاء آلی خاص موجود در پسماند شهری (به استثنای پلاستیک) به صورت فرمول کلی $C_a H_b O_c N_d$ در نظر گرفته شوند، کل حجم گاز تولیدی را می توان با فرض تبدیل زیستی کامل پسماند آلی به دی اکسید کربن (CO_2) و متان (CH_4) با استفاده از معادله ۱ (معادله بازول) به دست آورد .

$$C_a H_b O_c N_d + (4a-b-2c+3d/4)\, H_2O \Rightarrow (4a+b-2c-3d/8)CH_4 + (4a-b+2c+3d/8)CO_2 + dNH_3 \quad (۱)$$

با استفاده ازمعادله ۱و آنالیز فیزیکی و شیمیایی درج شده درجدول ۱و ۲ می توان دو فرمول شیمیایی برای مواد سریع تجزیه پذیر و کند تجزیه پذیر بدست آورد:

فرمول شیمیایی مواد سریع تجزیه پذیر

$$C_{۲۸.۶۹} H_{۶۲.۰۳} O_{۲۳.۳۰} N_1 \Rightarrow C_{۲۹} H_{۶۲} O_{۲۳} N_1$$

فرمول شیمیایی مواد کند تجزیه پذیر

$$C_{۸۹.۷۷} H_{۱۳۵.۷۴} O_{۵۵.۷۵} N_1 \Rightarrow C_{۹۰} H_{۱۳۶} O_{۵۶} N_1$$

نتایج موازنه جرم برای مواد سریع تجزیه پذیر وکند تجزیه پذیر نشان می دهد که، حجم کل استاندارد متان ($V_{S\,(CH4)}$) ۱۹۴/۴ متر مکعب، حجم کل استاندارد دی اکسیدکربن ($V_{S\,(CO2)}$) ۱۶۶/۳۵ مترمکعب، حجم کل استاندارد بیو گاز ($V_{S\,(BIOGAS)}$) ۳۶۰/۷۵ مترمکعب ، و همچنین درصد متان (X_{CH4}) و دی اکسید کربن (X_{CO2}) قابل حصول به ترتیب ۸۹ /۵۳ درصد و ۴۶/۱۱ درصد می باشد .

برآورد جمعیت

مطابق آمار موجود جمعیت شهر مشهد در سال ۱۳۹۵ برابر ۳۳۷۲۶۶۰ نفر بوده، که با نرخ رشد جمعیت ۱/۷۲ درصد پیش بینی می گردد تا سال ۱۴۱۳ میزان جمعیت ۴۵۸۴۴۴۶ نفر برسد (۹). جهت تخمین جمعیت در بازه زمانی ۱۳۹۸- ۱۴۱۳ از معادلات ۲و ۳ استفاده شده است، در معادله ۲و۳ نرخ رشد جمعیت (r)، برابر با ۱/۷۲ درصد و جمعیت در سال مبناء (p_o) برابر با ۳۳۷۲۶۶۰ نفر می باشد:

$$r = \left(\sqrt[n]{\frac{p_n}{p_o}} - 1\right) \times 100 \quad (۲)$$

$$p_n = p_o (1 + r)^n \quad (۳)$$

برآورد میزان پسماند ورودی به محل دفن

درصورتی که پسماند ورودی به کارخانه تفکیک را به دو بخش مواد آلی ارگانیک جهت تولید کود کمپوست و مواد غیر آلی با ارزش حرارتی بالا به منظور تأمین خوراک زباله سوز تقسیم کرده و ازاین مقدار پسماند (۶۰۰۰۰۰ کیلوگرم در روز) درمحل دفع صرف نظر شود ، می توان با استفاده از نتایج حاصل از بخش تخمین جمعیت و نرخ سرانه مصرف (۰/۷ کیلوگرم به ازاء هر نفر در روز) ، ظرفیت ورودی به محل دفن را درسال های ۱۳۹۸ -۱۴۱۳ مطابق جدول ۴ برآورد کرد:

$$\dot{m}_f = 600000 \ \frac{kg}{day} \ , \ \dot{m}_p = 0.7 \ \frac{kg}{person.day}$$

پتانسیل ظرفیت تولید متان *Lo*

پتانسیل ظرفیت تولید متان (L_0) تنها متأثر از نوع زباله دفن شده می باشد. مقدار بالاتر محتوای سلولزی زباله ها منجر به افزایش مقدار پارامتر (L_0) می گردد. مقدار (L_0) بستگی قابل توجهی به نسبت مواد آلی در ترکیب پسماند دفن شده دارد. این پارامتر براساس محتوای کربن پسماند، نسبت کربن قابل تجزیه بیولوژیکی و یک ضریب تبدیل استوکیومتری با استفاده از معادله ۴ تخمین زده می شود ، و واحد این پارامتر برحسب متر مکعب متان در هر کیلوگرم پسماند می باشد و همچنین در معادله ۴ دانسیته متان (ρ_{CH4}) برابر با ۰/۷۱۴ کیلو گرم بر متر مکعب می باشد . (۱۳،۱۴ ، ۱۲ ، ۸) .

$$L_0 = \frac{MCF \times DOC \times DOCf \times X_{CH4} \times (\frac{16}{12}) \times (1\text{-}OX)}{\rho_{CH4}} \qquad (۴)$$

محتوای کربن آلی قابل تجزیه *DOC*

محتوای کربن آلی قابل تجزیه جزء ضروری محاسبات تولید گاز می باشد ، و تغییرات جزئی در مقدار DOC می تواند موجب تغییرات بسیار بزرگ در محاسبات گاز متان تولیدی گردد. با توجه به اینکه ترکیب پسماند در کشور های مختلف متفاوت است ، لذا مقادیر DOC نیز دامنه گسترده ای دارد ، و از این رو بهتر است جهت تعیین این پارامتر به داده های واقعی مراجعه گردد ، مقدار DOC نیز طبق معادله ۵ قابل محاسبه است و واحد این پارامتر برحسب کیلوگرم کربن بر هر کیلوگرم پسماند می باشد (۸، ۱۳،۱۴) :

$$DOC = (0.4 \times A) + (0.17 \times B) + (0.15 \times C) + (0.3 \times D) \qquad (۵)$$

درمعاله ۵، نماد A درصد فیزیکی پسماند (کاغذ، مقوا، پارچه و منسوجات)، نماد B درصد فیزیکی پسماند باغی و کشاورزی، نماد C درصد فیزیکی پسماند غذایی، نماد D درصد فیزیکی پسماند چوب می باشد. درصد های هر جزء از پسماند به به همراه قابلیت تجزیه شوندگی در جدول ۳ گزارش گردیده است:

جدول۳- درصد فیزیکی و قابلیت تجزیه پذیری زیستی پسماند شهری (۱۳)

Table 3. Physical percentage and biodegradability of municipal waste (13)

جزء	نماد	درصد %	FB $\frac{\text{kg biodeg .C}}{\text{kg C}}$	LC %
کاغذ و مقوا	A	۵/۸	۰/۵	۱۱/۸
پارچه و منسوجات	A	۲/۵	۰/۲	۲۲/۵
ضایعات باغبانی	B	۰	۰/۷	۴/۱
پسماند غذایی	C	۶۶/۱	۰/۸	۰/۴
چوب	D	۵/۵	۰/۵	۱۱/۸

درجدول ۳ نماد (FB) برابر با قابلیت تجزیه پذیری کربن آلی می باشد و (LC) برابر با درصد لیگنین موجود در ماده آلی می باشد ، که میزان تجزیه پذیری کربن آلی با استفاده از معادله ۶ قابل دستیابی است (۱۳).

$$BF = 0.83 - 0.028\, LC \qquad (۶)$$

ضریب مواد آلی قابل تبدیل به بیوگاز DOC_f

این ضریب درصدی ازمواد آلی است که قابلیت تبدیل به بیوگاز را دارد مقدار این ضریب بر حسب دمای لندفیل از معادله ۷ قابل محاسبه است ، درمعادله ۷ دمای لندفیل $(T_{Landfill})$ برابر با ۳۵ درجه سانتی گراد می باشد (۸، ۱۲):

$$DOC_f = 0.014\, T + 0.28 \qquad (۷)$$

$$DOC_f = (0.014 \times 35) + 0.28 = 0.77$$

ضریب تصحیح متان *MCF*

MCF ضریب تصحیح متان می باشد، این ضریب بستگی به نحوه مدیریت لندفیل و عمق محل دفن دارد، مقدار این ضریب با توجه به نوع ساخت و بهره برداری از سایت متفاوت می باشد، مقدار این ضریب برای لندفیل مدیریت شده برابر با ۱، برای لندفیل مدیریت نشده با عمق پسماند بیش از ۵ متر ۰/۸، برای لندفیل مدیریت نشده با عمق پسماند کمتر از ۵ متر ۰/۴ و مقدار پیش فرض برای سایر شرایط ۰/۶ می باشد. در این مطالعه ضریب تصحیح متان برابر با ۱ در نظر گرفته شده است (۱۵).

نرخ تولید متان K

پارامتر نرخ تولید متان یا همان (K) به سرعت تولید متان از تجزیه بی هوازی توده زباله دفن شده اشاره می کند. مقادیر بالاتر پارامتر(K) نشان دهنده سرعت بیشتر تولید متان بوده که در طول زمان این سرعت به دلیل کاهش غلظت مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی کاهش می یابد. مقدار پارامتر(K) متأثر از چهار عامل می باشد : ۱) مقدار رطوبت موجود در توده زباله ۲) وجود مواد مغذی کافی برای میکروارگانیسم هایی که مواد آلی را به دی اکسید کربن و متان تبدیل می کنند ۳) pH توده زباله دفن شده ۴) دمای زباله های مدفون شده. برای بدست آوردن مقادیر اختصاصی (K)، در هر محل دفن زباله می توان از روشی که توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا ارائه شده استفاده نمود. باتوجه به اطلاعات آب وهوایی، میزان بارندگی در شهر مشهد ۳۵۰ میلی متر گزارش شده، که با استفاده از معادله ۸ مقدار نرخ تولید متان (K) در حدود ۰/۰۲۱ در سال برآورد می گردد (۱۲،۸).

$$K = (3.2 \times 10^{-5} \times X) + 0.01 \qquad (۸)$$

$$X = ۳۵۰ \text{ mm}$$

$$K = (3.2 \times 10^{-5} \times 350) + 0.01 = 0.0212 \frac{1}{\text{year}}$$

دبی حجمی گاز لندفیل

برآورد تئوریک گاز در محل دفن از روابط زیر قابل محاسبه می باشد (۸، ۱۳،۱۶) و نتایج حاصله در جدول ۵ گزارش شده است:

$$Q_{CH4} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=0.1}^{1} k L_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}} \qquad (۹)$$

$$Q_{CO2} = Q_{CH4} \times \left\{\left(\frac{1}{\left(\frac{X_{CH4}}{100}\right)}\right) - 1\right\} \qquad (۱۰)$$

$$Q_{\text{Total Biogas}} = Q_{CH4} + Q_{CO2} \qquad (۱۱)$$

ارزش حرارتی بیوگاز و توان نیروگاه لندفیل

با استفاده از درصد استوکیومتریک متان بدست آمده از معادله (۱) و ارزش حرارتی بالای گاز متان ($HHV_{(CH4)}$) و ارزش حرارتی پایین گاز متان ($LHV_{(CH4)}$) که به ترتیب ۳۹/۸۷ و۳۵/۹۳ مگاژول بر متر مکعب می باشند، و با استفاده از معادلات (۱۲) و (۱۵) می توان به ارزش حرارتی بالای گاز لندفیل ($HHV_{(LFG)}$) و ارزش حرارتی پایین گاز لندفیل ($LHV_{(LFG)}$) به ترتیب برابر با ۲۱/۴۸۴۵ و ۱۹/۳۶۱۴ مگاژول بر مترمکعب دست یافت، و همچنین توان و انرژی الکتریکی سالیانه تولید شده (۱۷) با ارزش حرارتی بالا و پایین بیوگاز با استفاده از معادلات (۱۳)، (۱۴)، (۱۶)، (۱۷) قابل دستیابی می باشد، و نتایج حاصله در نمودار ۱ گزارش شده است. در این مطالعه راندمان الکتریکی مولدهای برق(η_{el}) ، ۳۵ درصد در نظر گرفته شده است :

$$LHV_{LFG} = \frac{X_{CH4}}{100} \times LHV_{(CH4)} \qquad (۱۲)$$

$$P_{e(LHV)} = \eta_{el} \times Q_{\text{Total BIOGAS}} \left(\frac{m^3}{hr}\right) \times (LHV)_{LFG} / 3.6 \qquad (۱۳)$$

$$E_{e(LHV)} = 8760 \times P_{e(LHV)} \qquad (۱۴)$$

$$HHV_{LFG} = \frac{X_{CH4}}{100} \times HHV_{(CH4)} \qquad (۱۵)$$

$$P_{e(HHV)} = \eta_{el} \times Q_{\text{Total BIOGAS}} \left(\frac{m^3}{hr}\right) \times (HHV)_{LFG} / 3.6 \qquad (۱۶)$$

$$E_{e(HHV)} = 8760 \times P_{e(HHV)} \qquad (۱۷)$$

یافته ها

طبق محاسبات و نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر با استفاده از معادله (۱)، درصد متان تولید شده (X_{CH4}) معادل ۵۳/۸۹ درصد می باشد، همچنین مقدار محتوای کربن آلی قابل تجزیه (DOC)، مطابق با معادله (۵) برابر با ۰/۱۴۸۹ کیلوگرم کربن بر هر کیلوگرم پسماند برآورد شده است ، در این مطالعه ضریب مواد آلی قابل تبدیل به بیو گاز (DOC_f)، با استفاده معادله (۷) به میزان ۰/۷۷ برآورد شده است، و همچنین نرخ تولید متان(K)، با استفاده از معادله (۸) به میزان ۰/۰۲۱۲ در سال محاسبه شده است. در این مطالعه کل ظرفیت محل دفن (M_{TOTAL})، در بازه زمانی ۱۳۹۸-

۱۴۱۳ در حدود ۱۳۰۳۸۱۲۵ مگاگرم برآورد شـــده اســـت، و نتایج به دســـت آمده در جدول ۴ گزارش شـــده اســـت. در این مطالعه میزان پتانسیل ظرفیت تولید متان (Lo)، با استفاده از معادله (۴) و مقادیر به دســـت آمده از مراحل قبل و در نظر گرفتن ضـریب تصـحیح متان (MCF) برابر با ۱، در حدود ۰/۱۱۵۳ مترمکعب متان بر هر کیلوگرم پسماند پیشبینی شده اســـت. نتایج به دســـت آمده دراین مطالعه به منظور تجزیه و تحلیل و برآورد میزان بیوگاز ، متان و دی اکســـید کربن تولید شده به عنوان ورودی های مورد نیاز به نرم افزار Landgem منتقل شدند. نتایج به دست آمده پس از تجزیه و تحلیل توسط نرم افزار فوق به صورت دبی حجمی، در جدول ۵ گزارش شده است. با توجه به جدول ۵، بیشترین میزان بیوگاز و متان تولید شده در سال ۱۴۱۴ می با شد. در این مطالعه عمر مفید محل دفن به منظور تولید بیوگاز ۳۰ سال در نظرگرفته شده ا ست، و همچنین میزان توان تولید شـــده توســـط مولد های برق در نمودار ۱ گزارش شده است . لازم به ذکر است که دبی حجمی کل گاز لندفیل، متان و دی اکسید کربن با استفاده از معادلات (۹) ، (۱۰) ، (۱۱) قابل دستیابی هستند.

جدول ۴- نتایج تخمین جمعیت و ظرفیت محل دفن از سال ۱۳۹۸- ۱۴۱۳

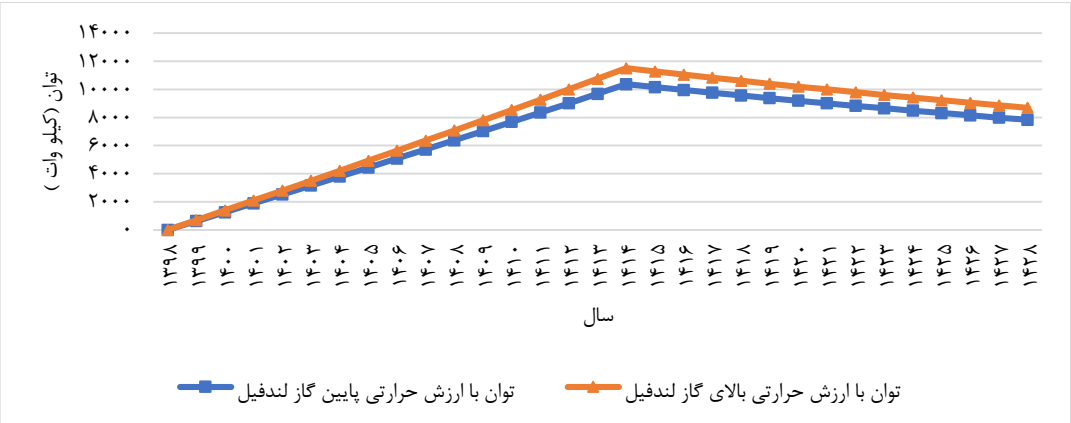
Table 4. Results of estimating the population and capacity of the landfill from 1398-1413

سال	جمعیت (نفر)	ظرفیت محل دفن (مگاگرم)	سال	جمعیت (نفر)	ظرفیت محل دفن (مگاگرم)
۱۳۹۵	۳۳۷۲۶۶۰	-	۱۴۰۵	۳۹۹۹۷۸۰	۸۰۲۹۴۴
۱۳۹۶	۳۴۳۰۶۷۰	-	۱۴۰۶	۴۰۶۸۵۷۶	۸۲۰۵۲۱
۱۳۹۷	۳۴۸۹۶۷۷	-	۱۴۰۷	۴۱۳۸۵۵۵	۸۳۸۴۰۱
۱۳۹۸	۳۵۴۹۷۰۰	۶۸۷۹۴۸	۱۴۰۸	۴۲۰۹۷۳۹	۸۵۶۵۸۸
۱۳۹۹	۳۶۱۰۷۵۵	۷۰۳۵۴۸	۱۴۰۹	۴۲۸۲۱۴۶	۸۷۵۰۸۸
۱۴۰۰	۳۶۷۲۸۶۰	۷۱۹۴۱۶	۱۴۱۰	۴۳۵۵۷۹۹	۸۹۳۹۰۷
۱۴۰۱	۳۷۳۶۰۳۳	۷۳۵۵۵۶	۱۴۱۱	۴۴۳۰۷۱۹	۹۱۳۰۴۹
۱۴۰۲	۳۸۰۰۲۹۲	۷۵۱۹۷۵	۱۴۱۲	۴۵۰۶۹۲۷	۹۳۲۵۲۰
۱۴۰۳	۳۸۶۵۶۵۸	۷۶۸۶۷۵	۱۴۱۳	۴۵۸۴۴۴۶	۹۵۲۳۲۶
۱۴۰۴	۳۹۳۲۱۴۷	۷۸۵۶۶۴			
کل ظرفیت محل دفن : ۱۳۰۳۸۱۲۵ مگا گرم					

جدول ۵ - نتایج دبی حجمی کل گاز لندفیل و متان تولید شده

Table 5. Results of total volume flow of landfill gas and methane produced

سال	پسماند موجود درمحل (Mg)	کل گاز لندفیل (m3/year)	متان (m3/year)	سال	پسماند موجود در محل (Mg)	کل گاز لندفیل (m3/year)	متان (m3/year)
۱۳۹۸	۰	۰	۰	۱۴۱۴	۱۳۰۳۸۱۲۶	۴۸۲۴۴۴۲۶ /۲	۲۵۹۹۸۹۲۱ /۳
۱۳۹۹	۶۸۷۹۴۸	۲۹۱۸۲۲۲ /۶	۱۵۷۲۶۳۰ /۱۶	۱۴۱۵	۱۳۰۳۸۱۲۶	۴۷۲۸۹۱۲۲ /۶	۲۵۴۸۴۱۰۸ /۲
۱۴۰۰	۱۳۹۱۴۹۶	۵۸۴۴۸۳۲ /۴۲	۳۱۴۹۷۸۰ /۱۹	۱۴۱۶	۱۳۰۳۸۱۲۶	۴۶۳۵۲۷۳۵ /۲	۲۴۹۷۹۴۸۹
۱۴۰۱	۲۱۱۰۹۱۲	۸۷۸۰۸۰۱/ ۵۴	۴۷۳۱۹۷۳ /۹۵	۱۴۱۷	۱۳۰۳۸۱۲۶	۴۵۴۳۴۸۸۹ /۵	۲۴۴۸۴۸۶۲
۱۴۰۲	۲۸۴۶۴۶۸	۱۱۷۲۷۱۰۲ /۳	۶۳۱۹۷۳۵ /۴۶	۱۴۱۸	۱۳۰۳۸۱۲۶	۴۴۵۳۵۲۱۸ /۴	۲۴۰۰۰۰۲۹ /۲
۱۴۰۳	۳۵۹۸۴۴۳	۱۴۶۸۴۷۰۷ /۹	۷۹۱۳۵۸۹ /۱۱	۱۴۱۹	۱۳۰۳۸۱۲۶	۴۳۶۵۳۳۶۲	۲۳۵۲۴۷۹۶ /۸
۱۴۰۴	۴۳۶۷۱۱۸	۱۷۶۵۴۵۹۲ /۳	۹۵۱۴۰۵۹ /۸۲	۱۴۲۰	۱۳۰۳۸۱۲۶	۴۲۷۸۸۹۶۷ /۵	۲۳۰۵۸۹۷۴ /۶
۱۴۰۵	۵۱۵۲۷۸۲	۲۰۶۳۷۷۳۰ /۹	۱۱۱۲۱۶۷۳ /۲	۱۴۲۱	۱۳۰۳۸۱۲۶	۴۱۹۴۱۶۸۹ /۲	۲۲۶۰۲۳۷۶ /۳
۱۴۰۶	۵۹۵۵۷۲۶	۲۳۶۳۵۱۰۰ /۷	۱۲۷۳۶۹۵۵ /۸	۱۴۲۲	۱۳۰۳۸۱۲۶	۴۱۱۱۱۱۸۸ /۱	۲۲۱۵۴۸۱۹ /۳
۱۴۰۷	۶۷۷۶۲۴۷	۲۶۶۴۷۶۸۰ /۷	۱۴۳۶۰۴۳۵ /۱	۱۴۲۳	۱۳۰۳۸۱۲۶	۴۰۲۹۷۱۳۲ /۱	۲۱۷۱۶۱۲۴ /۵
۱۴۰۸	۷۶۱۴۶۴۸	۲۹۶۷۶۴۵۲ /۲	۱۵۹۹۲۶۴۰ /۱	۱۴۲۴	۱۳۰۳۸۱۲۶	۳۹۴۹۹۱۹۵ /۴	۲۱۲۸۶۱۱۶ /۴
۱۴۰۹	۸۴۷۱۲۳۶	۳۲۷۲۲۳۹۹	۱۷۶۳۴۱۰۰ /۸	۱۴۲۵	۱۳۰۳۸۱۲۶	۳۸۷۱۷۰۵۸ /۹	۲۰۸۶۴۶۲۳ /۱
۱۴۱۰	۹۳۴۶۳۲۴	۳۵۷۸۶۵۰۸ /۱	۱۹۲۸۵۳۴۹ /۲	۱۴۲۶	۱۳۰۳۸۱۲۶	۳۷۹۵۰۴۰۹ /۸	۲۰۴۵۱۴۷۵ /۹
۱۴۱۱	۱۰۲۴۰۲۳۱	۳۸۸۶۹۷۶۹ /۶	۲۰۹۴۶۹۱۸ /۹	۱۴۲۷	۱۳۰۳۸۱۲۶	۳۷۱۹۸۹۴۱ /۳	۲۰۰۴۶۵۰۹ /۵
۱۴۱۲	۱۱۱۵۳۲۸۰	۴۱۹۷۳۱۷۷ /۳	۲۲۶۱۹۳۴۵ /۳	۱۴۲۸	۱۳۰۳۸۱۲۶	۳۶۴۶۲۳۵۲ /۹	۱۹۶۴۹۵۶۲
۱۴۱۳	۱۲۰۸۵۸۰۰	۴۵۰۹۷۷۲۸ /۸	۲۴۳۰۳۱۶۶ /۱	-	-	-	-



نمودار۱ - نتایج توان تولید شده از سال ۱۳۹۸- ۱۴۲۸

Figure 1. Results of power produced from 1398-1428

بحث و نتیجه گیری

دراین مطالعه میزان گاز های تولید شـــده در محل دفن با استفاده از مدل های ارایه شده $IPCC$ و همچنین استفاده از نرم افزار لندجم مورد آنالیز قرارگرفت. طبق محاســـبات انجام شـــده ظرفیت محل دفن با پذیرش پســـماند در بازه زمانی ۱۳۹۸- ۱۴۱۳ ســال درحدود ۱۳۰۳۸۱۲۵ مگاگرم پیش بینی می گردد. طبق نتـایج بـه دســـت آمـده از موازنـه جرم و استوکیومتریک برای دو دسته از مواد سریع تجزیه پذیر و کند تجزیه پذیر درحدود ۵۳/۸۹ درصـــد کل گاز های لندفیل را متان و ۴۶/۱۱ در صد را دی اکسید کربن تشکیل می دهد، با توجه به این که مقادیر فوق با ا ستفاده از موازنه جرم دو د سته از مواد آلی ســـریع تجزیه پذیر و کند تجزیه پذیر به دســـت آمده، مقادیر فوق نسـبت به سـایر روش های مورد بررسـی در سایرتحقیقات انجام شده از دقت بیشتری برخوردار است، طبق نتایج به دســـت امده دراین مطالعه محتوای کربن آلی قابل تجزیه ۰/۱۴۸۹ کیلوگرم کربن بر هر کیلوگرم پسماند و ضریب مواد آلی قابل تبدیل به بیوگاز ۰/۷۷ می باشـــد و همچنین پتانســـیل ظرفیت تولید متان ۱۱۵/۳۳ متر مکعب متان بر هر مگا گرم پسماند و نر خ تولید متان ۰/۰۲۱ در سال می با شد، مطابق نتایج به دست آمده و درج شده درجدول ۵ ، در سـال ۱۴۱۴ بیشتـرین دبـی حجمی متـان تولیـدشـده $۲/۶ \times ۱۰^{۷}$ متر مکعب بر سـال اسـت . همچنین مقدارارزش حرارتی بالا و پایین به د ست آمده گاز لندفیل به ترتیب ۲۱/۴۸۴ و ۱۹/۳۶۱ مگاژول بر متر مکعب می باشد. در صورت استفاده مستقیم گاز لندفیل در مولد های برق مطابق نمودار۱ در ســـال ۱۴۱۴ بیشترین توان خالص خروجی با ارزش حرارتی بالا و پایین گاز لندفیل به ترتیب۱۱۵۰۳/۶۳۳ کیلو وات و ۱۰۳۶۶/۸۳ کیلو وات و انرژی الکتریکی سالیانه۱۰۰۷۷۱۸۲۲کیلو وات ساعت با ارزش حرارتی بالا و انرژی الکتریکی سالیانه ۹۰۸۱۳۴۳۳ کیلو وات ساعت با ارزش حرارتی پایین قابل حصول ا ست. نتایج به د ست آمده با ا ستفاده از مدل های ا ستاندارد در این مطالعه به دلیل در نظرگرفتن چند عامل مهم میزان کربن آلی، تجزیه پذیری کربن آلی، میزان رطوبت، د مای محل دفن و میزان بارش منطقه، درمعادلات خود از دقت قابل قبولی نســـبت به سایر روش ها برخوردار هستند ،که عامل های فوق می توانند در برآورد دقیق تر میزان متان و توان تولید شـــده و همچنین هزینه های ســـرمایه گذاری و اقتصـــادی یک نیروگاه به میزان زیادی تاثیرگذار باشند.

تقدیر وتشکر

از تمامی عوامل گروه مهندســی انرژی و مکانیک دانشـگاه آزاد اسـلامی واحد مشـهد و همچنین همکاری ها و راهنمایی های سـازمان امور پسـماند شـهرداری مشـهد و چناران که زحمت زیادی برای تحقق این مقاله داشـتند، تشـکر و سـپاسـگزاری می‌گردد .

فهرست علایم اختصاری

نماد	توضیحات	واحد
DOC	محتوای کربن آلی قابل تجزیه	$\frac{\text{kg C}}{\text{kg waste}}$
DOC_f	ضریب مواد آلی قابل تبدیل به بیوگاز	-
E_e	انرژی الکتریکی	KWh
FB	مقدار تجزیه پذیری کربن آلی	$\frac{\text{kg biodeb .C}}{\text{kg C}}$
HHV	ارزش حرارتی بالا	$\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$
i	برابر یک سال افزایش زمان	year
j	زمان بر حسب ۰/۱ سال	year

K	نرخ تولید متان	$\frac{1}{year}$
L_o	پتانسیل ظرفیت تولید متان	$\frac{m^3}{kg}$
LC	درصد لیگنین	%
LFG	گاز لندفیل	-
LHV	ارزش حرارتی پایین	$\frac{MJ}{m^3}$
M_i	جرم دفن زباله در سال اول تأسیس محل دفن زباله	Mg
M_{TOTAL}	کل ظرفیت محل دفن	Mg
MCF	ضریب تصحیح متان	-
$\dot{m}_f$	ظرفیت کارخانه تفکیک	$\frac{kg}{day}$
$\dot{m}_p$	سرانه مصرف	$\frac{kg}{person.day}$
n	سال	-
OX	اکسیداسیون	-
p_o	جمعیت در سال مبداء	نفر
P_e	توان الکتریکی	KW
p_n	جمعیت در سال هدف	نفر
$\dot{Q}_{CH4}$	دبی حجمی متان	$\frac{m^3}{year}$
$\dot{Q}_{CO2}$	دبی حجمی دی اکسید کربن	$\frac{m^3}{year}$
$\dot{Q}_{Total\ Biogas}$	کل دبی حجمی بیوگاز	$\frac{m^3}{year}$
r	نرخ رشد جمعیت	%
T	دما	℃
t_{ij}	سن i مین بخش از زباله دفن شده در j مین سال بر حسب دهم سال	year
$V_{s(BIOGAS)}$	حجم استوکیومتریک بیوگاز	m^3
$V_{s(CH4)}$	حجم استوکیومتریک متان	m^3
$V_{s(CO2)}$	حجم استوکیومتریک دی اکسید کربن	m^3
X	میزان بارش	mm
X_{CH4}	درصد متان	%
X_{CO2}	درصد دی اکسید کربن	%
η_{el}	راندمان الکتریکی	%
ρ_{CH4}	دانسیته متان	$\frac{kg}{m^3}$

References

1. Kushki Nasab . F, Ghaderpoori . M, Jafari. A, Estimation Of Gas Emission From Municipal Solid Waste Landfill In Kuhdasht City Using Landgem Software, Yafte , 2020, 22 (3) ,130-139 . (In Persian)
2. Rezaee. Ehsan, Abolhasani. Mohammad Hadi, Evaluation Of Landfill Gas Generation For Exploitation Energy (Case Study: Landfill Of Shahinshahr), Journal Of Research In Environmental Health, 2018 , 4(3) ,203-214 . (In Persian)
3. Ahmadi Orkomi. Ali, Malekpour . Maryam, Energy Utilization Potential of Saravan Landfill in Rasht with Life Cycle Assessment Approach, Environmental Sciences, 1399. (In Persian)
4. Fahiminia. M, Qaragozluo. F, Azari. A, Calculate The Amount Of Gas Emissions From The Waste Disposal Center Of Qom Using The Program Landgem, First Specialized Conference On Environment, Energy And Clean Industry; Tehran, Iran, 2013. (In Persian)
5. Mashhad Municipality Waste Management Organization, Research Unit , 2019. (In Persian)
6. Shafiee Dehabad.Alireza,Waste Incineration And Energy Extraction From Municipal Solid Waste, Management Of Studies And Planning Of Urban Services And Environment, Report 332, November 2015. (In Persian)
7. Rahmatollahi . Mehri, Talaiekhozani . Amirreza, How To Design And Operate A Gas Collection System For Municipal Solid Waste Landfills, Fifth Conference And Exhibition Of Environment And Upcoming Crises, May 2018. (In Persian)
8. Alexander. Amy, Burklin. Clint, Singleton. Amanda, Landfill Gas Emissions Model (Landgem) Version 3.02 User's Guide, U.S. Environmental Protection Agency, Office Of Research And Development Washington , 2005 .
9. Statistics Center Of Iran, Data And Statistical Information, 2016, Www.Amar.Org.Ir. (In Persian)
10. Niessen .Walter . R , Combustion And Incineration Processes, Crc Press, Fourth Edition , 2010 .
11. Yusuf. R. O, Adeniran. J. A, Application Of The Triangular Model In Quantifying Landfill Gas Emission From Municipal Solid Wastes , Pollution , Winter 2019, 5(1) : 71-80.
12. Hosseini. S. S, Yaghmaeian. K, Yousefi. N, Mahvi. A. H ,"Estimation Of Landfill Gas Generation In A Municipal Solid Waste Disposal Site By Landgem Mathematical Model", Global J. Environ. Sci. Manage., Autumn 2018, 4(4): 493-506.
13. Zhao. Haokai, Methane Emissions From Landfills ,Columbia University , Earth Engineering Center, January 2019.
14. Ciuła. J, Kozik. V, Generowicz. A, Gaska. K, Bak . A, Paździor . M, Et Al. Emission And Neutralization Of Methane From A Municipal Landfill-Parametric Analysis , Energies [Internet] 2020,13(23),6254 .
15. Farzadkia. M, Djahed. B, Shahsavani . S, Dehghanifard . E, Prediction Of Gas Emission And Derived Electrical Power Generation From Shiraz Landfill, Global Nest Journal, 2015, 17(3): 487-497.

16. Sadeghi. Shahram, Shahmoradi. Behzad, Ali Azadi. Nammam, A Prospective Study On Methane Gas Emission From Saqqez Solid Waste Landfill, Journal Of Research In Environmental Health, 2020, 6(2), 173-181. (In Persian)

17. Barragán- Escandón. A, Olmedo Ruiz. Jm , Curillo Tigre . Jd, Zalamea- León . Ef, Assessment Of Power Generation Using Biogas From Landfills In An Equatorial Tropical Context. Sustainability [Internet], Mdpi Ag, 2020,12(7), 2669.